



**Diana Moutinho
Figueiredo e Sousa**

**Aplicação do Processo de Compostagem na
Estabilização de Dejectos de Coelho**



**Diana Moutinho
Figueiredo e Sousa**

**Aplicação do Processo de Compostagem na
Estabilização de Dejectos de Coelho**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, realizada sob a orientação científica da Professora Doutora Ana Paula Duarte Gomes, Professora auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro.

o júri

presidente

Professor Dr. Luís António da Cruz Tarelho

Professor auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

Prof. Dr. Ana Paula Duarte Gomes (Orientadora)

Professora auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

Prof. Dr. Maria do Carmo Felgueiras e Sousa Magalhães

Professor adjunta no Departamento de Ciências Exactas e do Ambiente da Escola Superior Agrária de Coimbra

agradecimentos

À minha orientadora, Professora Doutora Ana Paula Duarte Gomes, por toda a ajuda e apoio dados ao longo da elaboração deste trabalho.

À Inês, do departamento de Biologia da Universidade de Aveiro, pela ajuda prestada para que este projecto se tornasse mais completo.

À proprietária da Coelheira pela disponibilidade mostrada em fornecer o resíduo.

Ao Romão, pela amabilidade que teve em me ajudar na concretização da Tese.

A todas as pessoas que directa ou indirectamente, tornaram possível a realização deste trabalho.

À minha família e amigos que, com todo o carinho e empenho me ajudaram a ultrapassar mais esta etapa da minha vida.

palavras-chave

Dejectos de coelho, compostagem, análise económica

resumo

Hoje em dia, produtores e investigadores têm vindo a explorar várias formas para manter a sustentabilidade ambiental enquanto valorizam e melhoram a questão do transporte de adubos para equilibrar os custos de produção. As empresas produtoras de adubo têm que ter em conta a origem do resíduo, o transporte, armazenamento, manuseamento, tratamento, distribuição e utilização do mesmo. O uso do composto orgânico na agricultura tem sido uma das principais opções para a solução do problema dos dejectos de animais. A viabilidade da sua reutilização na agricultura é uma opção extremamente interessante, apresentando inúmeras vantagens, tanto do ponto de vista ambiental como do económico sobre as demais opções.

Em Portugal, existem 6,6 milhões de coelhos em coelheiras, o que representa aproximadamente uma produção de dejectos de coelho de 597 mil toneladas. Actualmente este resíduo é colocado directamente no solo, sem qualquer tipo de tratamento, na sua maioria. A valorização orgânica dos dejectos de coelho surge então como uma alternativa ambientalmente correcta.

O trabalho consistiu na avaliação do processo de compostagem de dejectos de coelho, o qual é um material rico em matéria orgânica e com elevado teor de azoto.

A deposição directa deste resíduo no solo, tal e qual, tem-se mostrado favorável às culturas. Deste modo, para avaliar o efeito da compostagem nos dejectos de coelho, foram realizadas análises ao material inicial e final do processo.

Realizaram-se dois tipos de ensaios de compostagem de dejectos de coelho: com biomassa florestal e sem biomassa florestal, avaliando também diferentes tipos de arejamento. O objectivo era analisar as características do processo, e, posteriormente, avaliar a estabilidade do composto produzido através de ensaios de vaso.

Em ambos os tipos de ensaios de compostagem foi efectuada a monitorização da temperatura do material, do teor de dióxido de carbono e do oxigénio da fase gasosa ao longo do processo, bem como a caracterização periódica da fase sólida, relativamente aos parâmetros de humidade, sólidos voláteis, pH e teor em cinzas. Determinou-se também a variação de lípidos, fibras, azoto total e amoniacal e nutrientes entre o início e o fim de cada ensaio.

Os resultados experimentais, através de ensaios de fitotoxicidade, permitiram concluir que o composto obtido possui características adequadas à sua aplicação no solo e favoráveis ao crescimento das plantas.

A avaliação conjunta de todos os parâmetros analisados, aponta o composto resultante do ensaio sem biomassa e arejamento forçado, como o composto de maior qualidade.

Partindo desse pressuposto, foi procedeu-se ao estudo da avaliação económica de uma possível instalação de compostagem na Coelheira em estudo.

Este projecto apresenta uma solução para a valorização dos dejectos de coelho produzidos na Coelheira Farmolap, através de um processo de compostagem. O sistema consiste na degradação biológica aeróbia controlada, efectuada em 4 pilhas, incluindo arejamento forçado de forma a aumentar a eficiência. Com este processo pretende-se resolver a problemática associada ao destino a dar aos dejectos produzidos nas coelheiras e simultaneamente a obtenção de um produto, o composto, com elevado valor agronómico, de acordo com um conceito fundamental nas políticas ambientais, a ecogestão. Os custos de investimento (equipamento essencial) deste projecto rondam os 120,000 euros e os custos operacionais e de mão-de-obra os 30,700 euros no primeiro ano. Estes custos poderão ser amortizados com a venda do composto a um valor de mercado, podendo facturar-se cerca de 33,500 euros no primeiro ano.

keywords

Rabbit manure, composting, economic analysis

abstract

Producers and researchers are exploring many ways to address environmental sustainability and nuisance problems while adding value and improving transportability of manure to offset the costs of management practices. Manure management includes feed management, collection, transport, storage, handling, treatment, disposal and utilization of manure. The use of organic compost in agriculture has been one of the better solutions for animal manure. The viability of reuse it, is a extremely interesting option.

In Portugal, there are 6, 6 millions of rabbits, wich means a rabbit manure production of nearly 596 thousand tons. Nowadays it is directly disposed in the soil.

The work consisted in the evaluation of the rabbit manure composting process which is a rich material in organic matter and with high content of nitrogen.

Direct disposal of this material in soil, has been good to the agriculture. In this way, to evaluate the effect of composting in rabbit manure, there were made analysis to the inicial and final material.

Two types of tests of rabbit manure composting were carried out: with forestal biomass and without forestal biomass. The objective was to analyze the characteristics of the process when it occurs naturally and evaluate the stability of the compost produced through the seed test.

In both types of tests for composting the material temperature, carbon dioxide and oxigen content through the gaseous phase were monitored along the process, as well as the periodic solid phase characterization concerning to: moisture, volatile solids, pH and ash content. Lipids, fibres, total and organic nitrogen and nutrients are also determined between the beginning and the end of process.

The experimental results allowed to conclude that the obtain compost has adequate characteristics to apply on soil and favorable to plants growth.

In conclusion, the better compost is the one without biomass and forced aeration

The present work also studied the economic evaluation of a possible composting unit.

This project presents a solution for the valorization of rabbit manure produced in a rabbit-hunting in Gafanha da Nazaré based on waste composting. The system consists of controlled biological degradation in four piles, including mixing equipment to increase efficiency. The aim of this project is to solve the problem associated with the final disposal of the rabbit manure produced in rabbit-huntigs and to obtain a final product with agronomic value, the compost, according to the concepts of eco-management. Investment costs are around 120,000 million euros. Operational costs are around 30,700 euros in the first year. However these costs can be balanced by selling the produced compost, which can amount to 33,500 thousand euros/year.

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	O PROCESSO DE COMPOSTAGEM	3
1.1.1	<i>Factores que influenciam o processo de compostagem</i>	<i>6</i>
1.1.2	<i>Correctivos do solo</i>	<i>13</i>
1.1.3	<i>Utilização do composto.....</i>	<i>14</i>
1.1.3.1	<i>Aplicação no solo</i>	<i>15</i>
1.1.3.2	<i>Tipos de composto</i>	<i>16</i>
1.2	O SECTOR DA CUNICULTURA	21
1.2.1	<i>Caracterização.....</i>	<i>21</i>
1.2.2	<i>Dejectos de coelho</i>	<i>22</i>
1.2.2.1	<i>Características</i>	<i>22</i>
1.2.3	<i>Venda de estrume de coelho.....</i>	<i>24</i>
2	COMPOSTAGEM	27
2.1	CARACTERIZAÇÃO INICIAL DOS SUBSTRATOS	27
2.2	METODOLOGIA DO PROCESSO	28
2.2.1	<i>Análise da fase gasosa</i>	<i>28</i>
2.2.2	<i>Análise da fase sólida.....</i>	<i>29</i>
2.3	DESCRIÇÃO DAS INSTALAÇÕES DE COMPOSTAGEM.....	30
2.4	ENSAIOS DE COMPOSTAGEM REALIZADOS	32
2.5	RESULTADOS EXPERIMENTAIS	34
2.5.1	<i>Caracterização do material no final do processo de compostagem</i>	<i>34</i>
2.5.2	<i>Temperatura e teor de CO₂ ao longo do processo</i>	<i>37</i>
2.5.3	<i>Densidade “bulk” dos compostos</i>	<i>41</i>
2.5.4	<i>Monitorização do pH.....</i>	<i>42</i>
2.5.5	<i>Avaliação da fitotoxicidade</i>	<i>43</i>
2.5.6	<i>Análise Microbiológica</i>	<i>45</i>
2.5.6.1	<i>Contagem de Escherichia coli.....</i>	<i>45</i>
2.5.6.2	<i>Testes de confirmação</i>	<i>46</i>
	<i>Teste do API</i>	<i>46</i>
2.5.6.3	<i>Cálculo das colónias e apresentação de resultados</i>	<i>47</i>
2.5.6.4	<i>Pesquisa de Salmonella sp.....</i>	<i>48</i>
2.5.6.5	<i>Testes de confirmação</i>	<i>48</i>
	<i>Teste TSI</i>	<i>48</i>
	<i>Teste da Urease</i>	<i>49</i>
2.5.6.6	<i>Confirmação de espécies do género Bacillus cereus.....</i>	<i>50</i>
	<i>Teste de Voges- Proskauer (VP)</i>	<i>50</i>
	<i>Coloração de Gram.....</i>	<i>50</i>
2.5.7	<i>Fungos.....</i>	<i>51</i>

2.5.8	<i>Classificação do composto</i>	53
2.6	TRATAMENTO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS	55
2.6.1	<i>Grau de conversão e redução de volume</i>	55
2.6.1.1	<i>Degradação da Hemicelulose, Celulose e Lenhina</i>	58
2.6.2	<i>Nutrientes</i>	62
2.6.3	<i>Estequiometria do processo</i>	66
2.6.4	<i>Cinética do processo</i>	69
3	AVALIAÇÃO ECONÓMICA DA INSTALAÇÃO DE UMA UNIDADE DE COMPOSTAGEM	77
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA PROPRIEDADE	78
3.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	79
3.2.1	<i>Capacidade de Instalação</i>	79
3.2.2	<i>Concepção técnica. Descrição</i>	80
3.2.3	<i>Infra-estruturas necessárias</i>	80
3.2.4	<i>Equipamentos necessários</i>	81
3.3	ESTUDO DE DIMENSIONAMENTO.....	81
3.3.1	<i>Parque de compostagem activa</i>	83
3.3.2	<i>Parque de maturação</i>	85
3.3.3	<i>Ensacamento e Armazenamento</i>	85
3.4	ANÁLISE TÉCNICO-ECONÓMICA	86
3.4.1	<i>Investimentos para a implementação da Unidade de Compostagem</i>	86
3.4.2	<i>Custos de exploração</i>	87
3.4.3	<i>Proveitos</i>	88
3.4.4	<i>Plano de Negócios</i>	89
4	CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	93
5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	97
6	ANEXOS	103

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1.1 - Vantagens e desvantagens da compostagem de dejectos (url 1).....	6
Tabela 1.2 - Factores que afectam o processo de compostagem e valores aceitáveis (Matos & Pereira, 2004).....	6
Tabela 1.3- Composição média das fezes duras e dos cecotrofos (Proto, 1980). Valores médios e variação em 10 alimentos experimentais que incluem alimentos concentrados e folhagens verdes e secas (url 8).....	24
Tabela 2.1 - Caracterização dos resíduos originais, dejectos de coelho e biomassa florestal.	27
Tabela 2.2 – Composição das misturas inicialmente colocadas nos compostores.....	33
Tabela 2.3 – Caracterização do material no final do processo.....	35
Tabela 2.4 – Resultados do teste de vaso e índice de crescimento.....	44
Tabela 2.5 – Contagem do número de Unidades Formadoras de Colónias.	47
Tabela 2.6- Temperatura e tempo de exposição necessário para a inactivação de alguns patogénicos e parasitas (Matos, 2007):.....	51
Tabela 2.7 - Critérios para atribuição a compostos do Rótulo Ecológico Europeu de acordo com a Decisão 2006/799/CE de 3 de Novembro.....	54
Tabela 2.8 - Valores de concentração de azoto determinados nos ensaios e valores apresentados no Rótulo Ecológico Comunitário.	55
Tabela 2.9- Grau de conversão nos momentos de amostragem no compostor com arejamento passivo (A.P) e arejamento forçado (A.F) para o ensaio com biomassa.....	59
Tabela 2.10- Grau de conversão nos momentos de amostragem no compostor com arejamento passivo (A.P) e arejamento forçado (A.F) para o ensaio sem biomassa.....	59
Tabela 2.11 – Concentrações de Fósforo, Potássio e Sódio.....	64
Tabela 2.12- Fórmula química dos substratos do ensaio com biomassa.....	67
Tabela 2.13- Fórmula química dos substratos do ensaio sem biomassa.....	67
Tabela 2.14- Coeficientes estequiométricos de consumo de oxigénio a partir dos componentes orgânicos e percentagem de biodegradabilidade do material.	69
Tabela 2.15 - Constantes de velocidade de primeira ordem de decomposição de sólidos voláteis.	70
Tabela 2.16 - Constantes de velocidade de primeira ordem de decomposição de sólidos voláteis (valores ajustados).	71
Tabela 2.17 - Coeficiente estequiométrico de geração de água.	75
Tabela 2.18 – Caudal de ar de arejamento.....	75
Tabela 3.1 – Quantidade de dejectos produzidos por dia e afluentes à instalação de compostagem.	79
Tabela 3.2– Resumo das características da Unidade de Compostagem a instalar (url 6).	80
Tabela 3.3– Equipamento associado à exploração da Unidade de Compostagem (url 6).	81
Tabela 3.4 – Massa e volume de resíduos por pilha.	83
Tabela 3.5 - Dimensão e forma das pilhas construídas/ valores recomendados (url 6).....	84
Tabela 3.6 - Monitorização dos parâmetros.....	84
Tabela 3.7 – Massa e volume de composto.	85
Tabela 3.8 – Dimensão e forma das pilhas na zona de maturação.....	85
Tabela 3.9 - Estimativa de Custos de investimento do projecto.	87

Tabela 3.10 – Estimativa de Custos com pessoal e operacionais do projecto (url 17).	88
Tabela 3.11 – Estimativa de mercado do projecto.	89
Tabela 3.12 – Demonstração de resultados.	90
Tabela 3.13 – Balanços Anuais.	91

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 – Dinâmica do azoto durante a compostagem (Queda, 2005/06)	8
Figura 1.2 – Controlo do processo pelo arejamento	11
Figura 1.3 – Biodegradabilidade de diferentes biomassas (Queda, 2005/06).....	13
Figura 1.4 – Uma das gaiolas da zona da Maternidade da coelheira em estudo.....	21
Figura 1.5 – Aspecto original do resíduo	23
Figura 2.1 – Compostor utilizado nos ensaios de compostagem	31
Figura 2.2 – Sistema de arejamento passivo (A.P.).....	31
Figura 2.3 – Sistema de arejamento forçado (A.F.)	31
Figura 2.4 - Montagem para a amostragem e aquisição de dados do teor em CO ₂ na fase gasosa dos compostores.	32
Figura 2.5 . Aspecto do composto final.....	34
Figura 2.6 - Composição ponderal de ambos os compostores no início e no fim do ensaio com biomassa, em base de cinza constante (bcc).	36
Figura 2.7 - Composição ponderal de ambos os compostores no início e no fim do ensaio sem biomassa, em base de cinza constante (bcc)	37
Figura 2.8 - Evolução da temperatura e teor de CO ₂ ao longo do ensaio com biomassa, para o compostor com arejamento passivo	38
Figura 2.9 - Evolução da temperatura e teor de CO ₂ ao longo do ensaio com biomassa, para o compostor com arejamento forçado.....	39
Figura 2.10 - Evolução da temperatura e teor de O ₂ ao longo do ensaio sem biomassa, para o compostor com arejamento passivo	40
Figura 2.11 - Evolução da temperatura e teor de O ₂ ao longo do ensaio sem biomassa, para o compostor com arejamento forçado.....	40
Figura 2.12 - Evolução da temperatura do compostor com A.P (1) e do compostor com A.F (2) e da temperatura ambiente do ensaio sem biomassa, na fase de maturação	41
Figura 2.13 - Perfil de variação de pH durante os revolvimentos, para o ensaio com biomassa e para o ensaio sem biomassa, respectivamente.	43
Figura 2.14 - Teste de vaso	44
Figura 2.15 - Contagem de E-Coli em placa	46
Figura 2.16 - Teste do API	47
Figura 2.17 - Teste TSI	49
Figura 2.18 - Exemplar da espécie <i>Coprinus Comatus</i> encontrada no processo de compostagem	52
Figura 2.19 - Exemplar da espécie <i>Coprinus Atramentarius</i> encontrada no processo de compostagem	53
Figura 2.20 - Exemplar da espécie <i>Coprinus</i> (vista da parte externa e interna do chapéu)	53
Figura 2.21 - Grau de conversão de componentes para o ensaio com biomassa	56
Figura 2.22 - Grau de conversão de componentes para o ensaio sem biomassa	57
Figura 2.23 - Redução de volume para o 1º Ensaio (com biomassa) e para o 2º Ensaio (sem biomassa)	57
Figura 2.24 - Grau de conversão de Fibras no ensaio com biomassa	58
Figura 2.25 - Grau de conversão de Fibras no ensaio sem biomassa	58

Figura 2.26 - Evolução das massas totais do ensaio com biomassa, no compostor com arejamento passivo.....	60
Figura 2.27 - Evolução das massas totais do ensaio com biomassa, no compostor com arejamento forçado.....	60
Figura 2.28 - Evolução das massas totais do ensaio sem biomassa, no compostor com arejamento passivo.....	61
Figura 2.29 - Evolução das massas totais do ensaio sem biomassa, no compostor com arejamento forçado.....	61
Figura 2.30 - Imagem do resíduo esbranquiçado num dos compostores.....	62
Figura 2.31 - Evolução da massa total de azoto do ensaio com biomassa, para o arejamento passivo (1) e para o arejamento forçado (2)	63
Figura 2.32 - Evolução da massa total de azoto do ensaio sem biomassa, para o arejamento passivo (1) e para o arejamento forçado (2)	63
Figura 2.33 – Recta de calibração para o Fósforo por espectrofotometria do visível	64
Figura 2.34 – Curva de calibração para o Potássio por espectrometria de emissão de chama	65
Figura 2.35 – Curva de calibração para o Sódio por espectrometria de emissão de chama	65
Figura 2.36- Teores de Macronutrientes, para o ensaio com biomassa.....	66
Figura 2.37 - Teores de Macronutrientes, para o ensaio sem biomassa.....	66
Figura 2.38 - Massa de sólidos voláteis biodegradáveis presentes ao longo do tempo no compostor com arejamento passivo, do ensaio com biomassa.....	71
Figura 2.39 - Massa de sólidos voláteis biodegradáveis presentes ao longo do tempo no compostor com arejamento forçado, para o ensaio com biomassa	72
Figura 2.40 - Massa de sólidos voláteis biodegradáveis presentes ao longo do tempo no compostor com arejamento passivo, para o ensaio sem biomassa	72
Figura 2.41 - Massa de sólidos voláteis biodegradáveis presentes ao longo do tempo no compostor com arejamento forçado, para o ensaio sem biomassa	73
Figura 2.42 - Representação do caudal de ar de arejamento estequiométrico e de remoção de água gerada biologicamente para o compostor com arejamento passivo, do ensaio com biomassa.....	75
Figura 2.43 - Representação do caudal de ar de arejamento estequiométrico e de remoção de água gerada biologicamente para o compostor com arejamento forçado, do ensaio com biomassa.....	76
Figura 2.44 - Representação do caudal de ar de arejamento estequiométrico e de remoção de água gerada biologicamente para o compostor com arejamento passivo, do ensaio sem biomassa.....	76
Figura 2.45 - Representação do caudal de ar de arejamento estequiométrico e de remoção de água gerada biologicamente para o compostor com arejamento forçado, do ensaio sem biomassa.....	76
Figura 3.1 – Planta da Unidade de Compostagem, com indicação do percurso do resíduo.....	82

NOMENCLATURA

A.F	Arejamento Forçado
A.P	Arejamento Passivo
bcc	Base de cinza constante
bs	Base seca
btq	Base tal e qual
B	Fracção biodegradável de sólidos voláteis
Consumo _{O₂}	Consumo horário de oxigénio [$\text{g}_{\text{O}_2} \cdot \text{h}^{-1}$]
CSTR	Continuous stirred tank reactor
G_m	Índice de crescimento
H	Humidade (%)
HC	Composição em hidratos de carbono do material [$\text{kg}_{\text{HC}} \cdot \text{kg}_R^{-1}$]
k_d	Velocidade de primeira ordem de decomposição de sólidos voláteis [h^{-1}]
M	Massa de material [g]
$M_{\text{H}_2\text{O}}$	Massa de água [g]
m_{SV}	Massa de sólidos voláteis [g]
m_{SVB}	Massa de sólidos voláteis biodegradáveis [g]
$m_{\text{svb}}(t)$	Massa de sólidos voláteis biodegradáveis estimada [g]
$m_{\text{svb}} \text{ ajuste}$	Massa de sólidos voláteis biodegradáveis ajustada [g]
m/m	Fracção em massa
$m_{\text{H}_2\text{O}}$	Coefficiente estequiométrico de geração de água [$\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \text{kg}_{\text{sv}}^{-1}$]
M_{molar}	Massa Molar [$\text{kg} \cdot \text{kmol}^{-1}$]
M_j, M_i	Massa molecular do elemento j e do composto i , respectivamente, com $j = \text{C}, \text{O}, \text{N}, \text{S}, \text{H}_2$ e $i = \text{O}_2, \text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}, \text{NH}_3, \text{NO}, \text{CO}$ [$\text{kg}_j \cdot \text{kmol}_j^{-1}$], [$\text{kg}_i \cdot \text{kmol}_i^{-1}$]
PTN	Condições normais de pressão e temperatura ($1,013 \cdot 10^5 \text{Pa}$ e 273K)
$P_{v,\text{sat}}$	Pressão de vapor de saturação da água a T_{ar} [mmHg]
Q_{ar}	Caudal de arejamento [l/min]
Q_{est}	Caudal de ar estequiométrico em condições PTN [$\text{m}^3 \text{PTN} \cdot \text{h}^{-1}$]
Q_{rem}	Caudal de ar que para remoção da água gerada [$\text{m}^3 \text{PTN} \cdot \text{h}^{-1}$]
$-r_{\text{O}_2}$	Velocidade de consumo de O_2 [$\text{g}_{\text{O}_2} \cdot \text{g}_{\text{sv}}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$]
$-r_{\text{SV}}$	Velocidade de degradação de sólidos voláteis biodegradáveis [$\text{kg}_{\text{sv}} \cdot \text{h}^{-1}$]
SV	Composição em sólidos voláteis do material [$\text{kg}_{\text{sv}} \cdot \text{kg}_R^{-1}$]
$\text{SVB}_0, \text{SVB}_t$	Massa de sólidos voláteis biodegradáveis no início do processo e no instante t , respectivamente [kg]
t	Tempo de reacção [h]
T	Temperatura de amostragem [K]
ton	Toneladas de resíduo
TR	Tempo de processamento entre o início e o instante t [h]
V	Volume [cm^3]

v/v	Fracção de volume
w_{iR}	Fracção mássica em base seca de um qualquer componente molecular i no material em compostagem [$\text{kg}_i \cdot \text{kg}_R^{-1}$]
w_{jR}, w_{jP}	Fracção mássica do elemento j no resíduo seco e no composto seco, respectivamente, com $j = \text{C, H, O, N, S, Z}$ [$\text{kg}_j \cdot \text{kg}_R^{-1}$], [$\text{kg}_j \cdot \text{kg}_P^{-1}$]
w_{jS}, w_{jO}	Fracção mássica do elemento j em base seca sem cinzas no resíduo e no composto, respectivamente, com $j = \text{C, H, O, N}$ [$\text{kg}_j \cdot \text{kg}_S^{-1}$], [$\text{kg}_j \cdot \text{kg}_O^{-1}$]
w_{iCC}	Fracção mássica em base de cinza constante de um qualquer componente molecular i no material em compostagem [$\text{kg}_i \cdot \text{kg}_{CC}^{-1}$]
W_{VA}	Razão de saturação do vapor de água no ar seco [$\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \text{kg}_{\text{ar}}^{-1}$]
w_{ZR}, w_{ZP}	Fracção mássica de cinza no resíduo seco e no composto seco, respectivamente [$\text{kg}_{\text{cinza}} \cdot \text{kg}_R^{-1}$], [$\text{kg}_{\text{cinza}} \cdot \text{kg}_P^{-1}$]
x_l	Fracção mássica de lenhina nos sólidos voláteis [$\text{kg}_{\text{lenhina}} \cdot \text{kg}_{\text{sv}}^{-1}$]
X_j	Grau de conversão do composto j , com $j = \text{SV, HC, Proteínas, Lípidos, Fibras}$
Y'_{O_2} $\text{O}_2 \cdot \text{g}_{\text{sv iniciais}}^{-1}$	Coeficiente médio de consumo de O_2 por massa de sólidos voláteis iniciais [g]
Y_{O_2} $\text{O}_2 \cdot \text{g}_{\text{sv deg}}^{-1}$	Coeficiente médio de consumo de O_2 por massa de sólidos voláteis degradados [g]
ρ_b	Massa específica "bulk" do material [$\text{kg}_R \cdot \text{m}_R^{-3}$]
$-r_{\text{O}_2}$	Velocidade de consumo de oxigénio [$\text{g}_{\text{O}_2} \cdot \text{kg}_{\text{sv}}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$]
ε'	Rendimento do processo em base seca sem cinzas [$\text{kg}_{\text{sv comp}} \cdot \text{kg}_{\text{sv res}}^{-1}$]
t	Δ Intervalo de tempo [h]
%	Percentagem mássica
%v	Percentagem volúmica

ACRÓNIMOS

A.F.	Arejamento forçado
A.P.	Arejamento passivo
Coef.	Coeficiente estequiométrico
Deg.	Degradado
DL	Decreto Lei
EBIT	Lucros antes de juros, impostos e minoritários
EBITDA	Lucros antes de juros, impostos, depreciação e amortização
EBT	Lucros antes de impostos
E-Coli	Escherichia Coli
INE	Instituto Nacional de Estatística
Inic.	Inicial
LER	Lista Europeia de Resíduos
RSU	Resíduos sólidos urbanos
Res.	Resíduo
TSI	Meio Triple Sugar Iron Agar
XLD	Meio Xylose Lysine Desoxycholate Agar



1 INTRODUÇÃO

A correcção orgânica dos solos com dejectos de animais e resíduos vegetais é praticada desde que os solos começaram a ser imobilizados para a produção vegetal, e foi, tradicionalmente, o principal meio de equilibrar o balanço de nutrientes no solo (Avnimelech, 1986). Tal como Richard Langer uma vez disse: “A compostagem é um processo natural que começou com as primeiras plantas da terra e continua desde então”.

A compostagem, como método de reciclagem da fracção orgânica biodegradável do resíduo doméstico para obtenção de fertilizante orgânico, é conhecida pelos agricultores desde longa data. Os registos de operações de compostagem em pilhas remontam na China, a mais de 2000 anos, e, existem várias referências bíblicas sobre as práticas de correcção do solo. O agricultor cientista romano Marcus Cato também a elas se referiu. Estas práticas foram detalhadamente descritas cerca de 1000 anos atrás, para o período dos 3000 anos precedentes, num manuscrito de El Doctor Excelente Abu Zacharia Iahia de Sevilha, o qual foi, posteriormente, traduzido do árabe para o espanhol por ordem do rei Carlos V e publicado em 1802 como El Libro de Agricultura. Pela sua própria experiência, Abu Zacharia insistia que os dejectos animais não deviam ser aplicados frescos e isolados no solo, mas sim, após misturas com 5 a 10 vezes mais de resíduos vegetais e com resíduos das camas dos animais, para aproveitar as urinas. Também Albert Howard, autor do famoso método de compostagem desenvolvido no início do século XX na província Indiana de Indore, tentou, sem êxito, efectuar a compostagem com resíduos de uma só natureza, como de restos da cultura do algodão, da cana do açúcar, da ervilha ou de infestantes de trevo, e concluiu que tinha de misturar os resíduos (url 9).

Na Europa, durante o século XVIII e XIX, os agricultores transportavam os seus produtos para as cidades em crescimento e, em troca, regressavam às suas terras com os resíduos sólidos urbanos das cidades para utilizá-los como correctivos orgânicos do solo. Assim, os resíduos sólidos urbanos eram quase completamente reciclados através da agricultura, para sustentar a produção vegetal. E, até meados do século XX, não colocaram grandes problemas em termos de depósito. Qualquer resíduo urbano combustível que existisse era utilizado nos fogões a lenha, os jornais e papéis velhos eram utilizados como material para empacotamento, os desperdícios de comida



utilizavam-se na alimentação de animais domésticos ou eram recolhidos pelos agricultores, roupa velha e metais eram, por rotina, recolhidos por pequenos mercadores, e os plásticos praticamente não existiam (url 9).

No entanto, nas últimas décadas, os problemas ambientais provocados por uma política agrícola seguida pela União Europeia, ao incentivar o aumento das produções e das produtividades conduziram, nomeadamente, a uma degradação ambiental, reflectindo-se na poluição das águas subterrâneas e superficiais, na erosão e compactação dos solos, na poluição atmosférica, nos riscos de incêndio e na degradação da paisagem (Maia, 1995).

Em Portugal, estes problemas não atingem a gravidade dos países do norte e centro da Europa. Há, no entanto, situações pontuais de poluição do solo e das águas, nas zonas onde se pratica uma agricultura mais intensiva e, também, ocasionadas por explorações pecuárias intensivas, ou sem terra (sem área forrageira constante), bem como por agro-indústrias. Acrescem a estas situações, problemas de indisciplina na utilização de produtos, com consequências ao nível da poluição do solo, das águas e na saúde pública (Maia, 1995).

Até aos finais da década de 1960, a compostagem foi considerada como um processo atractivo para estabilizar a fracção orgânica dos resíduos sólidos urbanos. O interesse na compostagem resultava na esperança de vender o produto acabado, como correctivo orgânico do solo, com algum lucro. Todavia, na década de 1970 e 1980, a compostagem, nos países desenvolvidos, perdeu a sua popularidade como método de tratamento na gestão dos resíduos urbanos, principalmente porque a qualidade dos resíduos se tornou cada vez mais inadequada para o processo de compostagem e, também, devido à inexistência de mercado para o produto acabado. Também pelo facto da compostagem ser um processo moroso, e pela disponibilidade e facilidade de adquirir fertilizantes sintéticos no mercado, este processo foi conduzido ao abandono por todo o planeta. Na década de 1990 até aos nossos dias, a pressão exercida para a utilização de métodos com menor impacte ambiental conduz a um novo interesse no processo de compostagem, particularmente em relação à reciclagem dos resíduos e dos esgotos urbanos e industriais (url 9).

A prática moderna de compostagem é, na verdade, um método de aceleração e intensificação dos processos naturais de decomposição e transformação da matéria



orgânica (em decomposição), de modo a esta poder ser eficazmente usada para nutrir e enriquecer o solo (Campbell, 2005). Contudo, este processo biológico deve ser efectuado de uma forma controlada, com o objectivo de obedecer a determinados requisitos técnicos e económicos. Neste contexto as condições processuais que mais influenciam o sucesso da operação são: humidade, temperatura, pH, razão ponderal carbono/azoto (C/N) e a taxa de arejamento. Parte-se naturalmente do princípio que estão garantidas à partida as condições básicas de existência de macro e micronutrientes no meio de fermentação (Matos & Pereira, 2004).

Caso não haja qualquer controlo, podem ser libertados gases prejudiciais para o ambiente, como o CH_4 , N_2O e H_2S , bem como, a lixiviação da pilha para os cursos de água e lençóis freáticos. Existem, ainda, factores que, frequentemente, limitam a prática da compostagem, nomeadamente, a inexistência de todos os materiais necessários, a escassez de área disponível no terreno, o custo dos equipamentos adequados, a disponibilidade e custo da mão-de-obra, entre outros (Correia, 2005).

Dos vários resíduos da agropecuária, os dejectos de coelho, ricos em matéria orgânica, apresentam uma concentração em nutrientes que justifica a sua valorização orgânica, procedendo-se à estabilização química e biológica dos seus compostos orgânicos com vista a uma posterior aplicação no solo.

Este trabalho pretende ser uma introdução à compostagem de misturas distintas com dejectos de coelho, em diferentes condições de arejamento, como estratégia de tratamento, com o objectivo de valorização orgânica e deposição ambientalmente correcta deste tipo de resíduos. Deste modo é possível obter dados relevantes para uma possível instalação de compostagem, assim como avaliar a sua viabilidade económica.

1.1 O PROCESSO DE COMPOSTAGEM

A compostagem é um processo de valorização de resíduos orgânicos, sólidos e semi-sólidos. Trata-se da decomposição da matéria orgânica levada a cabo pelos microrganismos em condições adequadas, nomeadamente de oxigénio, humidade e nutrientes, de que resulta a libertação de energia e a acumulação de calor, dando origem a um produto estável, designado por composto, livre de patogénicos e viável para ser



aplicado no solo como adubo (Silveira, 2000). Depois de este produto estabilizar, os odores são reduzidos e os agentes patogénicos eliminados.

O composto resultante tem várias semelhanças com o húmus, fracção orgânica do solo. A equação que representa o processo é a seguinte:

$RSU+ar = CO_2+H_2O+N_2+NH_3+H_2S+COV's+inertes+húmus+matéria\ viva+calor$ (Matos e Pereira, 2004)

Um dos aspectos mais importantes desta reacção é o facto de ser exotérmica, resultando num aquecimento da massa em fermentação. Este aquecimento (entre 40-60 °C) é benéfico para acelerar a velocidade do processo e pasteurizar o produto. Contudo, um aquecimento exagerado (acima de 70° C) é prejudicial, pois conduz à inactivação por temperatura (diminuição da diversidade microbiológica) e formação de esporos, o que retarda o processo (Matos & Pereira, 2004).

Os objectivos da compostagem são essencialmente a decomposição da matéria orgânica facilmente degradável, de modo a evitar fenómenos de competição e de fitotoxicidade quando se aplica composto ao solo e, simultaneamente, tirar partido da elevação da temperatura e de antagonismos microbianos para a destruição dos microrganismos patogénicos (Silveira, 2000).

Este tipo de tratamento, além de possibilitar o aproveitamento material dos resíduos, permite incrementar a utilização de fertilizantes naturais em substituição dos fertilizantes químicos, para suprir a crescente carência de matéria orgânica dos solos. O composto contém nutrientes e oligoelementos que são libertados para o solo a um ritmo compatível com as necessidades das plantas, ao contrário dos fertilizantes químicos que disponibilizam os nutrientes de uma forma quase instantânea e não adaptada às necessidades nutricionais das plantas.

Em condições controladas, a compostagem consiste em três fases: a fase mesófila, a fase termófila e a fase de maturação.

A fase mesófila é a primeira fase do processo e é a fase em que ocorre a hidrólise das macromoléculas a compostos mais simples, através de enzimas extra-celulares, com formação de açúcares solúveis, aminoácidos e ácidos gordos. Dura os primeiros 2 a 3 dias, a temperaturas próximas do ambiente e de forma facultativa relativamente à presença de oxigénio (Matos & Pereira, 2004).



Na segunda fase ocorre a assimilação das formas solubilizadas, dando origem a um intenso fenómeno de metabolismo e crescimento biológico com formação de CO_2 e H_2O e libertação de calor, idealmente deve desenrolar-se entre 55 a 65°C. No entanto pode atingir mais de 70°C e ocorrer durante alguns dias, dependendo da temperatura. Se esta for próxima de 70°C terá um efeito inibidor, encurtando a fase termófila, se esta se mantiver na gama de 50-60°C, a fase termófila poderá durar semanas (Matos & Pereira, 2004). Durante esta fase, a maior parte da matéria orgânica é decomposta (url 1).

Na fase de maturação, a actividade microbiológica abranda e a temperatura do material aproxima-se da temperatura ambiente, estando o processo perto do fim. Nesta fase ocorre a degradação da matéria orgânica residual mais refractária, a começar pela celulose e a terminar na lenhina, as perdas de calor excedem a energia que é gerada, pelo que a temperatura decresce ao longo do tempo, dura um a dois meses (Matos & Pereira, 2004). O volume do material reduz de 20 a 60%, a humidade até 40% e o peso até 50%. Quanto maior for esta fase maior será a estabilidade do composto resultante (url 1).

É necessário ter um sistema de monitorização e controle adequado de modo a manter a temperatura, oxigénio, e humidade nos níveis óptimos para a actividade dos microrganismos. A monitorização constante dos níveis da temperatura, humidade e oxigénio pode ajudar nas decisões a tomar nas actividades da compostagem, como o revolvimento, o arejamento e a adição de água. Estes testes podem ser efectuados muito facilmente no próprio local e de forma rápida (desde alguns minutos para a temperatura e oxigénio, até um dia para a humidade).

No entanto, como qualquer outra técnica de tratamento de resíduos, a compostagem apresenta vantagens e desvantagens. Relativamente às vantagens deste processo de reciclagem orgânica de resíduos, é de realçar que só se cumprem se os processos escolhidos forem adequados, pois caso tal não se verifique as vantagens serão apenas parciais por resultar num produto de baixa qualidade, entre outras desvantagens (ver Tabela 1.1).



Tabela 1.1 - Vantagens e desvantagens da compostagem de dejectos (url 1).

Vantagens	Desvantagens
Redução de massa e volume (custos de transporte mais reduzidos)	Perda de azoto na forma de NH_3
Redução de odores	Tempo e trabalho envolvido
Eliminação de agentes patogénicos	Custo de equipamentos (inicialmente e durante a operação)
Eliminação de sementes infestantes	Terreno necessário para compostagem
Facilidades no transporte	Publicidade requerida para venda
Bom condicionador de solos	
Melhora as características da matéria orgânica (os nutrientes do composto são libertados lentamente e de forma estável)	
Diminuição de poluentes (mineraliza o azoto volátil, reduzindo as perdas)	
Aplicável sempre que necessário	
Produto rentável	
Aumenta a retenção de água pelo solo	

1.1.1 Factores que influenciam o processo de compostagem

Alguns dos factores mais importantes na compostagem estão mencionados na Tabela 1.2 com os seus valores aceitáveis.

Tabela 1.2 - Factores que afectam o processo de compostagem e valores aceitáveis (Matos & Pereira, 2004).

Factor	Intervalos aceitáveis
Granulometria	2-7cm
C/N	25/1-30/1
Humidade	45-60%
Temperatura	50-70°C
pH	5,8-8,0
Agitação	Suave ou lenta
O_2	> 10%



Granulometria

As partículas mais pequenas apresentam uma área de contacto com o ar maior, pelo que permite a ocorrência de velocidades de reacção mais elevadas; contudo, estas partículas apresentam uma maior tendência para aglomerar e formar agregados quando a humidade é elevada, ocasionando um efeito contrário em relação à acessibilidade de oxigénio. O material deve ser triturado até 2-7 cm de tamanho para assegurar uma boa transferência de massa (oxigénio) e de calor (uniformidade de temperatura) (Matos & Pereira, 2004).

Nutrientes e razão C/N

Níveis adequados de fósforo (P), potássio (K), carbono (C), azoto (N) são essenciais no processo de compostagem e estão normalmente presentes em resíduos provenientes da agricultura, como é o caso dos excrementos de animais. Quando um composto é para ser utilizado no melhoramento do crescimento das plantas, a quantidade destes nutrientes no composto é bastante importante. Destes três nutrientes, o azoto é talvez o mais crítico por ser o mais susceptível de se perder durante o processo. O conteúdo em azoto geralmente diminui durante a compostagem, a maioria das vezes através da volatilização do amoníaco. Esta perda ocorre em termos de valores absolutos, pois em termos de fracção mássica verifica-se um aumento, devido à mineralização da matéria orgânica e consequente libertação de CO_2 e H_2O , de modo que se pode observar um decréscimo na razão C/N ao longo do processo (Gomes, 2001). A Figura 1.1 ilustra bem a dinâmica do azoto durante o processo de compostagem.

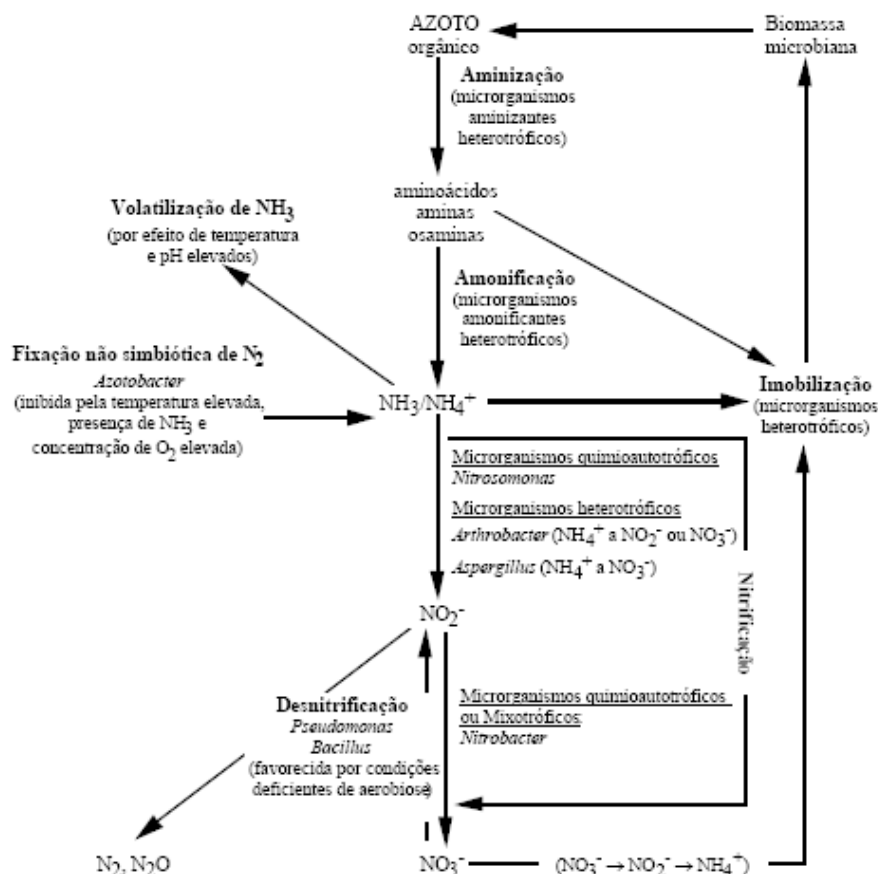


Figura 1.1 – Dinâmica do azoto durante a compostagem (Queda, 2005/06).

O potássio é perdido por lixiviação, enquanto o fósforo é conservado porque se encontra geralmente em compostos que não são lixiviados nem volatilizados (url 2).

A razão entre carbono e azoto do meio é um factor muito importante que afecta todo o processo de compostagem porque os microrganismos necessitam de 20 a 25 vezes mais carbono que azoto para se manterem activos (url 1). Os microrganismos digerem carbono como fonte de energia e ingerem azoto para edificação de proteínas celulares, e assim se reproduzem. Elementos como biomassa florestal, palha, entre outros são boas fontes de carbono. A maioria dos dejectos são boas fontes de azoto, mas podem ser baixos em carbono (url 9).

Os materiais ricos em carbono orgânico e azoto não necessitam de qualquer processo de compostagem. A evolução da matéria orgânica destes fertilizantes orgânicos irá ocorrer directamente no solo (Sequi, Ciavatta & Antisari, 1991). Outro grupo de resíduos orgânicos é composto por materiais por vezes também ricos em carbono orgânico, mas comparativamente pobres em azoto orgânico, como é o caso de excrementos de animais,



resíduos da agricultura e resíduos urbanos. Estes podem ser aplicados no solo apenas depois de um período de fermentação da matéria orgânica, a que chamamos estabilização. Tais resíduos orgânicos, depois de compostados, são geralmente denominados correctivos do solo (Bertoldi, Sequi, Lemmes & Papi, 1996).

A relação C/N de diversos materiais orgânicos encontra-se por exemplo no Anexo 10 do Código das Boas Práticas Agrícolas (CBPA, MADRP) e, para estrumes a relação recomendável é de C/N entre 20 e 30. Apesar da relação C/N=30 ser desejável para o processo de compostagem, esta relação poderá variar em função das características específicas dos materiais utilizados para compostar, designadamente da disponibilidade do carbono desses materiais para o ataque microbiano (url 9). Para $C/N > 30$, o crescimento dos microrganismos é retardado pela falta de azoto. Para $C/N < 30$, o excesso de azoto acelera o processo de decomposição e cria áreas anaeróbias no sistema, esse excesso de azoto é perdido para atmosfera na forma de amoníaco, o que poderá trazer problemas de odores e reduzir o valor fertilizante do composto final (Teixeira & Júnior, 2004)

A maioria dos materiais disponíveis para a compostagem não se encontram dentro da razão ideal de C/N, por isso devem ser misturados uns com os outros. Uma mistura apropriada de carbono e azoto ajuda a assegurar temperaturas altas o suficiente para o processo ocorrer de forma eficaz e também a disponibilidade de nutrientes para os microrganismos se abastecerem (url 1).

Humidade

A humidade tem um papel essencial no metabolismo dos microrganismos e, indirectamente, no fornecimento de oxigénio. Durante a compostagem, a água promove o meio onde as reacções químicas têm lugar, onde os nutrientes são transportados e onde os microrganismos se movem. A falta de água retarda o processo, com demasiada água na pilha a disponibilidade de oxigénio torna-se limitada, o que limita a actividade dos microrganismos que necessitam de oxigénio, e os microrganismos anaeróbios passam a dominar (url 14).

Um conteúdo em humidade entre 50 e 60% (em peso) fornece uma humidade adequada sem limitar o arejamento. Se a humidade atingir valores inferiores a 40%, a actividade bacteriana abrande e irá cessar completamente abaixo de 15%.



Quando a humidade excede os 60%, os nutrientes são lixiviados, a porosidade reduzida, propagam-se odores (devido às condições anaeróbias) e a decomposição abranda. Aí deve-se fazer um revolvimento para permitir o ar circular para uma melhor secagem ou então adicionar material seco como palha, ou um composto final. Se, pelo contrário, o material for muito seco, deve ser adicionada água (url 1).

Temperatura

A temperatura é o factor mais importante para determinar se a operação de compostagem se processa como desejável. A produção de calor de um material é indicativa da actividade biológica desse material e, por isso, indirectamente, do seu grau de decomposição (Bidlingmaier, 1985). A taxa de reacções bioquímicas duplica aproximadamente por cada 10°C que aumenta a temperatura (url 1).

Cada substrato tem uma gama de temperatura óptima de fermentação, que se situa entre 50-60°C, abaixo da qual a reacção é demasiado lenta e acima da qual há esporulação, perda de diversidade microbiológica e libertação desnecessária de odores indesejáveis (Matos & Pereira, 2004).

O nível de temperatura é importante, não só por uma questão de velocidade de reacção de degradação, mas também porque permite obter um produto final (composto) isento de risco para a saúde pública, já que as elevadas temperaturas atingidas eliminam os organismos patogénicos eventualmente presentes (bactérias, fungos, esporos, larvas e ovos de insectos) (Matos & Pereira, 2004).

O requisito da EPA para a redução significativa de organismos patogénicos é de que, em qualquer sistema, o material seja mantido a 40°C por um período mínimo de 5 dias e que se atinja os 55°C durante um período de 4 horas (Matos & Pereira, 2004).

Para conseguir estabilizar a temperatura dentro da gama pretendida, o calor produzido por oxidação microbiológica tem que ser parcialmente removido, o que ocorre essencialmente por arejamento controlado (convecção forçada e natural) mas também por arrefecimento provocado pela evaporação da humidade do resíduo (Matos & Pereira, 2004).

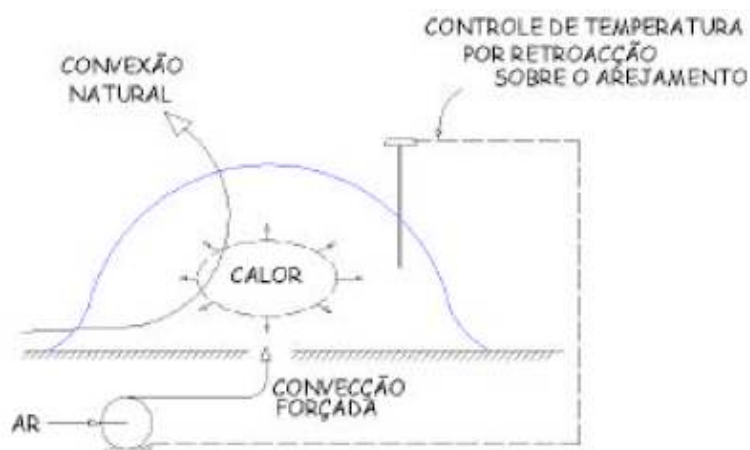


Figura 1.2 – Controlo do processo pelo arejamento.

pH

O pH ótimo para os microrganismos envolvidos na compostagem está compreendido entre 6.5 e 7.5, sendo o pH da maioria dos dejectos de animais entre 6.8 e 7.4. A libertação de ácidos orgânicos pode, temporariamente, baixar o pH, e a produção de amoníaco pode aumentar o pH durante as fases iniciais da compostagem. Em testes laboratoriais é possível controlar o pH e a qualidade do produto (url 1).

Agitação e homogeneização

A agitação da massa em compostagem, visa por um lado esboroar agregados de matéria orgânica que dificultam o acesso de O_2 ao seu interior, e por outro proporcionar ao material da periferia das pilhas (mais frio) a possibilidade de sofrer a elevação da temperatura necessária à sua sanitização.

A intensidade de agitação (número de vezes que a massa em compostagem é revolvida) está dependente do teor de humidade (quanto maior for o teor de humidade maior é a necessidade de agitação) e também pode ser usada para controlar a temperatura da pilha (quando atinge 70°C).

Em sistemas estáticos o efeito de arejamento é conseguido à custa da introdução de um agente de porosidade, já que aqui a transferência de massa e de calor se fazem exclusivamente por convecção natural (Matos & Pereira, 2004).



Oxigénio e arejamento

O oxigénio é um elemento necessário para o metabolismo e para a respiração dos microrganismos aeróbios, assim como para a oxidação das moléculas orgânicas presentes nos resíduos. Se se esgotar a disponibilidade em oxigénio, o processo de compostagem torna-se anaeróbio, mais lento, produzindo-se gases com odor desagradável e compostos tóxicos (Matos & Pereira, 2004).

O arejamento ocorre naturalmente quando ar aquecido pelo composto sobe através do material, arrastando ar fresco do meio ambiente até à base do compostor. A mistura inicial dos componentes geralmente introduz ar suficiente para iniciar a compostagem, no entanto são necessários revolvimentos regulares do material para aumentar o arejamento. A porosidade e a humidade do material influenciam o movimento do ar através do material a compostar (url 1).

Um bom arejamento durante a compostagem vai favorecer a decomposição completa de carbono (C) e dióxido de carbono (CO_2) em vez de libertar carbono como metano (CH_4). No entanto, ar a mais pode reduzir a taxa de decomposição pelo arrefecimento do material, podendo causar a libertação de muito CO_2 e também retirar a humidade ao sistema. Outra consequência do arejamento excessivo é a perda de amoníaco, especialmente em misturas com muito azoto, devido à secagem do material (url 1).

A concentração mínima desejável de oxigénio no material a compostar é de 5%. Acima de 10% é ideal para evitar condições de anaerobiose e odores desagradáveis, mas não é aconselhável ultrapassar 15% de modo a evitar perdas de calor (url 1).

A concentração de oxigénio pode ser medida com uma sonda de oxigénio. Contudo, a temperatura fornece informação adequada das condições do processo, pois, se a temperatura diminui, pode ser um indicador de falta de oxigénio nos interstícios e, nesta situação, deve-se fazer um revolvimento ao material (url 1).

Degradação da Hemicelulose, Celulose e Lenhina

Os teores de celulose e lenhina têm grande influência na velocidade de compostagem e nas características físicas e químicas do produto obtido. Segundo Kiehl (1985), quando a relação lenhina/celulose é menor que 0,4, a decomposição dos resíduos será mais rápida, enquanto relações maiores que 0,5 tornam a compostagem mais lenta.



A celulose e a hemicelulose são polissacarídeos produzidos por plantas, e no processo de compostagem estão associados aos substratos fornecedores de carbono. Para utilização desses polissacarídeos, os microrganismos dependem da produção de enzimas, a exemplo das celulases, xilanasas, entre outras, responsáveis pela quebra das macromoléculas, disponibilizando-as em unidades de açúcar assimiláveis pelos microrganismos (Siqueira, 2006). Segundo o mesmo autor, a lenhina é uma substância polifenólica, normalmente de difícil degradação.

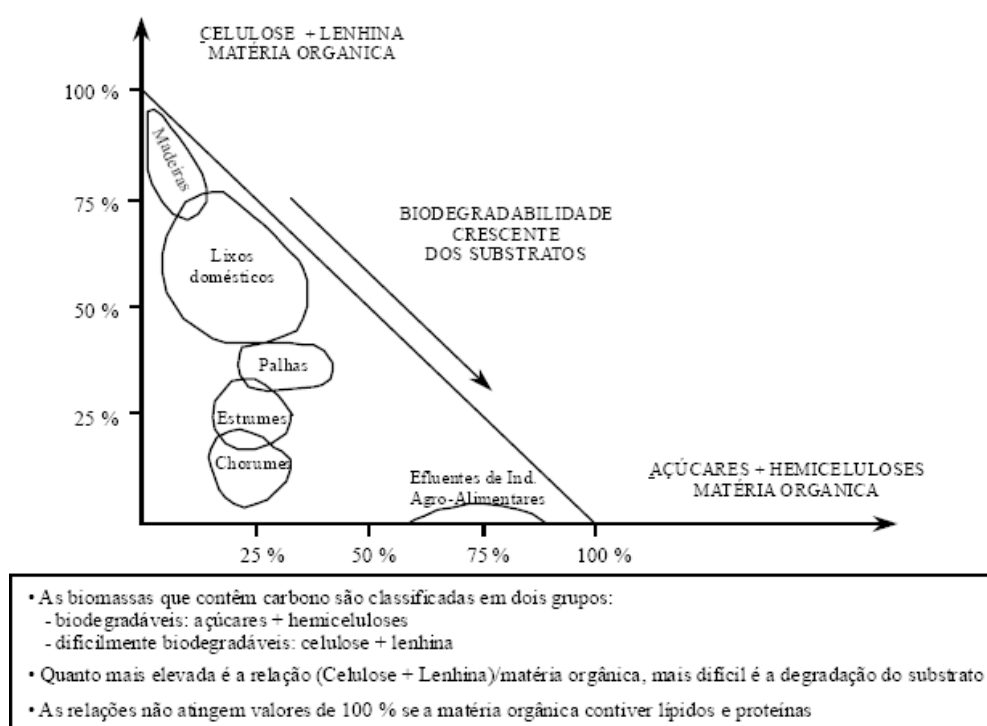


Figura 1.3 – Biodegradabilidade de diferentes biomassas (Queda, 2005/06).

1.1.2 Correctivos do solo

Com base na Decisão da Comissão Europeia 2006/799/CE, define-se os correctivos solos como produtos de origem animal e/ou vegetal que actuam na melhoria da nutrição das plantas de modo essencialmente indirecto, através da melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos, modificando a reacção do solo (pH), o teor de matéria orgânica, as suas características físicas, etc.



Embora as substâncias utilizadas como correctivos tenham quase sempre elementos nutritivos, que podem ter algum efeito directo sobre a nutrição das plantas, a sua principal acção é exercida na melhoria da fertilidade dos solos (url 6).

Os correctivos são classificados essencialmente de acordo com a sua origem e com o principal objectivo da sua aplicação. Podem ser minerais, condicionadores ou orgânicos.

- Os correctivos minerais destinam-se a corrigir o pH dos solos.
- Os correctivos condicionadores têm por missão corrigir as propriedades físicas dos solos, em especial a sua estrutura.
- Os correctivos orgânicos podem ser de origem animal ou vegetal e têm como principal função corrigir o nível de matéria orgânica de um solo e protegê-lo contra algumas formas de poluição provocadas por outros fertilizantes e algumas águas de rega. A aplicação dos correctivos orgânicos é de grande interesse quando as condições agroclimáticas favoreçam a sua mineralização (Santos, 1995).

Os correctivos são produtos muito importantes para a agricultura em Portugal, mas só um conhecimento profundo da fertilidade do solo através de análises físico-químicas permitirá fazer as alterações nos solos de forma eficiente, racional e ambientalmente correcta (Santos, 1995).

Um processo de compostagem devidamente levado a cabo para obter correctivos do solo, tem como principais resultados a eliminação de substâncias fitotóxicas, a redução de organismos patogénicos, a eliminação de sementes indesejadas, a redução da capacidade de fermentação com a estabilização da matéria orgânica, a redução de maus odores, e a facilidade de transporte (Bertoldi, 1996).

1.1.3 Utilização do composto

O composto, substrato resultante da compostagem, é um condicionador orgânico do solo que foi estabilizado a húmus, estando livre de patogénicos prejudiciais para o homem e plantas (...) e é benéfico para o crescimento das plantas (Haug, 1993).



Este tem numerosos usos agronómicos e hortícolas, podendo ser usado como correctivo do solo, suplemento fertilizador, adubo para vasos e jardins, entre outros. Nestes exemplos, o composto aumenta a retenção de água e nutrientes do solo, fornece uma porosidade média para as raízes crescerem, aumenta a matéria orgânica e diminui a densidade “ bulk” ou resistência à penetração (Cooperband, 2002).

Numa análise dum composto deve constar o teor em humidade, em matéria orgânica e em inertes. Para aplicações agrícolas, devem ser analisados também os teores em metais pesados, a biodisponibilidade em nutrientes e a fitotoxicidade (Matos & Pereira, 2004).

1.1.3.1 Aplicação no solo

As plantas, para se desenvolverem adequadamente, necessitam de ter à sua disposição quantidades apropriadas de nutrientes. Quando os solos não têm a capacidade de fornecer às plantas os nutrientes que elas necessitam, de uma forma equilibrada, pode recorrer-se à utilização de fertilizantes químicos e/ou de compostos. A aplicação de composto no solo aumenta a sua fertilidade e capacidade de troca catiónica e pode reduzir as necessidades de fertilizantes até 50%. O aumento da actividade microbiológica que se dá acelera a destruição de pesticidas e outros compostos orgânicos sintéticos. O uso do composto reduz a biodisponibilidade de metais pesados, uma qualidade importante na recuperação de solos contaminados (Ricci et al., 2006; Cooperband, 2002).

A matéria orgânica é considerada fundamental para a manutenção das características físicas, químicas e biológicas do solo. Do ponto de vista físico, a matéria orgânica melhora a estrutura do solo, reduz a plasticidade e a coesão, aumenta a capacidade de retenção de água e o arejamento, permitindo maior penetração e distribuição das raízes. Quimicamente, a matéria orgânica é a principal fonte de macro e micronutrientes essenciais às plantas, além de actuar indirectamente na disponibilidade dos mesmos, devido à elevação do pH e aumentar a capacidade de retenção dos nutrientes, evitando perdas. Biologicamente, a matéria orgânica aumenta a actividade dos microrganismos do solo, por ser fonte de energia e de nutrientes (Kiehl, 1981; 1985).



No entanto, a aplicação do composto no terreno pode ser um processo de dispersar no ambiente organismos indesejáveis, tais como microrganismos e/ou os seus esporos e sementes de ervas daninhas. Para evitar estas situações, é fundamental que o material compostado tenha atingido as temperaturas necessárias à sanitização, durante períodos de tempo convenientes (Matos & Pereira, 2004).

A incorporação de composto em solos agrícolas é a aplicação mais exigente em termos de qualidade, no que diz respeito aos graus de estabilização e maturação. Para promover a aceitação de um composto é importante a existência de testes fáceis e fiáveis para avaliar a sua qualidade. No entanto, devido à inexistência de um método universal para avaliar os compostos de resíduos orgânicos, é necessário recorrer a vários métodos para indicar uma conclusão segura sobre a maturação e a qualidade final dos materiais compostados (Matos, 2007; url 9).

1.1.3.2 Tipos de composto

O composto pode ser definido como fonte de matéria orgânica com uma capacidade única de aperfeiçoar as características químicas, físicas e biológicas dos solos. Definem-se os compostos em função de indicadores de qualidade e fixam-se os critérios para a sua utilização no solo, bem como as restrições convenientes para evitar efeitos indesejáveis para o solo, plantas, animais e seres humanos.

São potencialmente passíveis de processamento, para produzir compostos destinados à agricultura ou à regeneração de áreas degradadas, os resíduos cujas características (teor de matéria orgânica, biodegradabilidade, carga em metais pesados, micropoluentes orgânicos e agentes patogénicos, etc.) os tornem apropriados para o efeito. Estes resíduos encontram-se, genericamente, com maior ou menor grau de contaminação, entre resíduos de origem agro-florestal, industrial e urbana.

Estabelecem-se três tipos de composto, integrando-se:

- no composto corrente, os compostos de qualidade mínima obrigatória;
- no composto ecológico, os compostos que satisfazem os actuais critérios ecológicos para atribuição do rótulo ecológico comunitário;
- no composto biológico, os compostos que podem ser utilizados no modo de produção biológica. (url 9)



Composto corrente

São compostos de origem agro-florestal, industrial ou urbana, com qualidade mínima obrigatória, destinados à utilização generalizada na agricultura, que deverão obedecer aos seguintes requisitos:

- Teor de humidade: inferior a 40%;
- Granulometria: 99% do material deverá passar por um crivo (de malha quadrada) de 20mm;
- Teor de matéria orgânica total, reportado ao peso seco, dos compostos para utilização generalizada na agricultura, deverá ser superior a 30%.
- pH do composto deverá situar-se entre 5,5 e 8,5;
- Condutividade eléctrica não deverá ultrapassar 2mS/cm (a 25°C), quando o mesmo se destinar à utilização como constituinte de suportes de culturas;
- Número de sementes ou propágulos no composto, tal como é comercializado, não deverá exceder 3 unidades por litro.

Poderão utilizar-se compostos com uma granulometria superior à especificada, se os mesmos se destinarem a “*mulching*” ou ao controlo de fenómenos de erosão. Os compostos frescos e semi-maturados podem ser utilizados em solos destinados a culturas arbóreas e arbustivas (vinha, olival, pomares, etc.), culturas arvenses, pastagens, floricultura, horticultura, relvados, etc, desde que a distribuição e incorporação sejam efectuadas pelo menos 4 e 3 semanas, respectivamente, antes da sementeira ou plantação.

Para que os compostos maturados possam ser utilizados como constituinte de suportes de culturas é necessário que, no teste de fitotoxicidade, a produção de biomassa de cevada nos vasos contendo 50%v de composto e 50%v de turfa ultrapasse 90% da produção nos vasos contendo turfa calada e fertilizada.

É permitida a utilização de materiais compostados com uma carga em metais pesados superior à especificada para o composto corrente, desde que os mesmos não sejam aplicados em solos onde se pretenda implantar culturas destinadas à alimentação humana e animal. Para este tipo de utilizações estabelece-se uma concentração máxima de metais pesados nestes compostos duas vezes superior à indicada para o composto



corrente, bem como um teor de matéria orgânica superior a 20% e uma carga de materiais inertes antropogénicos (de granulometria superior a 2mm) inferior a 3% (em massa), valores estes reportados à matéria seca. As quantidades destes materiais, aplicadas ao solo em cada período de 10 anos, não deverão ultrapassar 200 t/ha (massa fresca). (url 9)

Composto ecológico

A Decisão da Comissão n.º 2001/688/CE, revogada pela Decisão 2006/799/CE de 3 de Novembro de 2006, a qual é a vigente e vigora até 2 de Novembro de 2010, estabelece os critérios ecológicos para atribuição do rótulo ecológico comunitário (REC) aos correctivos de solos, que se destina a promover a utilização e reutilização de matéria orgânica derivada da recolha e transformação de materiais residuais, contribuindo assim para a redução do volume de resíduos sólidos, e promover a redução dos danos ou riscos para o ambiente decorrentes dos metais pesados e nutrientes contidos nos produtos a comercializar e a aplicar como correctores de solos. A atribuição do REC está regulamentada, a nível nacional, pelo Despacho Conjunto nº 15512/2006 de 28 de Junho de 2006.

Um composto apenas será elegível para a atribuição do REC se o seu teor de matéria orgânica decorrer da transformação e/ou reutilização de resíduos (como definido pela Directiva 75/442/CEE do Conselho, de 15 de Julho de 1975, relativa aos resíduos, alterada pela Directiva 91/156/CEE do Conselho, de 18 de Março de 1991).

Para que lhe seja atribuído um rótulo ecológico, o correctivo de solos ou o suporte de cultura deve satisfazer, entre outros, os critérios seguintes:

- Os produtos não devem conter lamas de depuração;
- Os produtos não devem incluir cascas que tenham sido tratadas com pesticidas;
- O produto final (com granulometria superior a 2 mm) deve conter um teor de vidro, metal e plástico inferior a 0,5 %, em relação à matéria seca;
- A concentração de azoto no produto não deve ultrapassar 3 % em N_{total} (de matéria seca) e o azoto inorgânico não deve exceder 20 % do N_{total} (ou $N_{orgânico} \geq 80 \%$);



- Quando utilizado na dose de aplicação recomendada nas informações fornecidas com o produto, o mesmo não deve exceder cargas máximas de nutrientes de 17 g/m² de azoto total, 10 g/m² de P₂O₅, 20 g/m² de K₂O;
- Os produtos devem ser fornecidos sob uma forma sólida e conter, pelo menos, 25 % em massa, de matéria seca, e 20 % de matéria orgânica, em relação à matéria seca;
- No produto final, o conteúdo de sementes de infestantes ou de partes de infestantes agressivas capazes de reprodução vegetativa não deve exceder 2 unidades por litro.

CrITÉRIOS adicionais especificamente aplicáveis aos suportes de cultura:

- A parte orgânica do produto deve ser exclusivamente composta por correctivos de solos que satisfaçam os requisitos estabelecidos na presente decisão. Podem ser acrescentados componentes minerais, por exemplo, areia, argila, etc., para melhorar as propriedades físicas e químicas gerais;
- Uma composição que não origine odores desagradáveis depois da sua aplicação no solo;
- Uma composição que não origine efeitos negativos na germinação das plantas ou no seu crescimento posterior;
- Rotulagem genérica que forneça a entidade responsável pela comercialização do produto, o tipo de produto incluindo a frase corrector de solos e as condições recomendadas para armazenagem;
- Os produtos não devem conter turfa ou produtos derivados de turfa;
- A condutividade eléctrica dos produtos não deve exceder 1,5 dS/m.

No entanto a dose de aplicação dos correctivos ao solo deverá ter em conta o teor e a disponibilidade de nutrientes presentes no correctivo de solos, a fim de não exceder as cargas máximas de nutrientes por metro quadrado impostas pela Decisão. (url 9)



Composto biológico

O Regulamento (CEE) n.º 2092/91 do Conselho de 24 de Junho, que estabelece os princípios do modo de produção biológica de produtos agrícolas, estabelece que só poderão ser utilizados como fertilizantes e correctivos dos solos os produtos constituídos por substâncias enumeradas no seu anexo II. Entre estas substâncias, poderão ser utilizadas na produção do composto biológico, estrume de animais e de aves de capoeira, chorume ou urina, palha, resíduos domésticos orgânicos, detritos vegetais, produtos animais transformados, subprodutos orgânicos de alimentos e de indústrias têxteis, algas e produtos à base de algas, serradura cascas e desperdícios de madeira, rocha fosfatada natural e argila.

O Regulamento (CE) n.º 2381/94 da Comissão de 30 de Setembro, que altera o anexo II do Regulamento (CEE) n.º 2092/91 do Conselho, modificado pelos Regulamentos (CE) n.º 1488/97, (CE) n.º 1073/00 e (CE) n.º 436/01, introduz a necessidade do reconhecimento pelo organismo de controlo e da autorização excepcional e temporária sobre a utilização de algumas substâncias exteriores às explorações, porque o agricultor biológico tem de dar prioridade às práticas culturais com produtos e recursos da própria exploração.

Entre as restrições à utilização das substâncias referidas no anexo II do Regulamento (CEE) n.º 2092/91, destacam-se as seguintes:

- Os estrumes não podem ser provenientes da pecuária intensiva sem terra;
- Os estrumes secos e os excrementos de aves de capoeira não podem ser provenientes da pecuária sem terra;
- Os excrementos líquidos dos animais (chorume e urina) não podem ser provenientes da pecuária sem terra;
- Os resíduos domésticos orgânicos têm de ser separados na origem e com um sistema de recolha fechado e controlado pelo estado-membro e só podem ser utilizados por um período de tempo limitado;
- Entre os produtos de origem animal, desde que autorizados pela entidade de controlo, podem utilizar-se as seguintes farinhas: sangue, cascos, chifres, ossos, peixe, carne e penas;



- Pode ser utilizada farinha de bagaço de oleaginosas, casca de cacau e radículas de malte;
- Podem utilizar-se algas e produtos de algas, desde que sejam obtidos directamente por processos físicos, por extracção com água ou soluções aquosas, ou por fermentação;
- A serradura, as aparas de madeira e os compostos de casca de árvore não podem ter sofrido tratamento químico após o abate;
- O fosfato natural moído não pode ultrapassar um teor de cádmio de 90 mg/kg;
- Vinhaça e extractos de vinhaça podem ser utilizados com excepção das vinhaças amoniacaais. (url 9)

1.2 O SECTOR DA CUNICULTURA

1.2.1 Caracterização

O coelho é uma das espécies cinegéticas portuguesas de maior importância, devido à facilidade com que se reproduz e aos números elevados que as suas populações atingem. É um pequeno herbívoro que mede entre 35 e 50 cm e pesa entre 1,2 e 2,5 kg. O coelho reproduz-se quase todo ano, embora seja mais activo entre Março e Maio. Com um período de gestação de apenas 28/33 dias, cada fêmea tem três a sete ninhadas por ano, produzindo em cada ninhada entre duas a sete crias, cegas, surdas e sem pêlo, que, ao fim de 3,5 meses no caso das fêmeas e 4 meses no caso dos machos, já estão aptas a reproduzir. Têm uma longevidade máxima de nove anos (Pinheiro, 2000).



Figura 1.4 – Uma das gaiolas da zona da Maternidade da coelheira em estudo.



Os coelhos são autênticas máquinas de fazer estrume, pois, devido ao medo, o coelho tem pouco controlo dos músculos anais. Para um cultivador com grandes criações de coelhos, o estrume tanto pode ser vantajoso como um problema. Os dias de “criar uma pilha atrás do celeiro” podem em breve deixar de existir à medida que as restrições da EPA (Environmental Protection Agency) são mais rígidas em relação ao armazenamento de estrumes, e o estrume de coelho não é excepção (url 3).

Na Europa, os conteúdos em azoto estão a criar problemas com o estrume armazenado em contacto directo com o solo, contaminando as águas subterrâneas. Portanto, os cultivadores terão de prestar atenção ao correcto armazenamento do estrume, de forma a evitar potenciais problemas futuros à medida que as regras se tornam mais exigentes (url 3).

Existem várias formas de alojamento e manejo dos dejectos para cada tipo de produção de animais. Neste caso, os coelhos estão confinados às gaiolas pré-fabricadas e os dejectos caem para debaixo destas, no cimento, não havendo, portanto, problemas de contaminação do solo, mas há o problema dos odores.

1.2.2 Dejectos de coelho

1.2.2.1 Características

Este resíduo é constituído, na sua maioria, pelos excrementos dos coelhos, podendo também conter vestígios de sobras da ração e pêlos. Portanto, a sua composição química varia com o sistema de criação, a idade do animal, a raça e a alimentação (Ricci et al., 2006).

O estrume de coelho, usado como fertilizante das plantas, é de qualidade superior a outros estrumes devido à sua composição única, este é rico em azoto e também contém uma grande quantidade de fósforo, importante para o crescimento de flores e frutos. Quando os dejectos têm algum tempo e são secos, o estrume não vai “queimar” as plantas quando aplicado directamente no solo. Contudo, o estrume “fresco” não deve ser usado (url 3).

Este resíduo apresenta uma coloração castanho-escura, uma textura homogénea (Figura 1.5), uma humidade na ordem dos 40%, e um intenso odor a amoníaco, proveniente da urina.



Figura 1.5 – Aspecto original do resíduo.

O coelho, assim como alguns outros herbívoros, tem uma característica alimentar estratégica; ele faz a cecotrofia, ou seja, a reingestão do material elaborado no seu ceco.

De acordo com Herrera (2003), a cecotrofia é uma das características mais importantes da fisiologia digestiva dos coelhos, que consiste na produção diferenciada e normal de dois tipos de fezes, e no consumo voluntário dos cecotrofos ou fezes moles. A parte distal do intestino, em particular o cólon, apresenta actividade antiperistáltica, o que lhe permite seleccionar e eliminar as partículas de maior tamanho e mais fibrosas e lignificadas (fezes duras), no entanto permite manter, por longos períodos no ceco as partículas mais solúveis e fermentáveis (cecotrofos). Após a separação dessas partículas, o material volta a entrar no ceco, onde se mistura continuamente e permanece durante várias horas, e os microrganismos promovem uma fermentação com produção de nutrientes tais como AGVs e vitaminas C, K e do complexo B.

Os cecotrofos costumam estar agrupados em conjuntos de 8 a 10 bolas, a sua composição química é distinta das fezes duras, contendo mais água, azoto, minerais, vitaminas e ácidos gordos voláteis e menor conteúdo de fibra, isto de acordo com Herrera (2003). Na Tabela 1.3 encontram-se alguns valores típicos para as fezes duras e os cecotrofos.



Tabela 1.3- Composição média das fezes duras e dos cecotrofos (Proto, 1980). Valores médios e variação em 10 alimentos experimentais que incluem alimentos concentrados e folhagens verdes e secas (url 8).

	Fezes duras		Cecotrofos	
	Média	Extremos	Média	Extremos
Matéria seca (%)	53,3	48-66	27,1	18-37
em % de matéria seca				
Proteínas	13,1	9-25	29,5	21-37
Celulose bruta	37,8	22-54	22,0	14-33
Lípidos	02,6	1,3-5,3	02,4	1,0-4,6
Minerais	08,9	3-14	10,8	6-18

1.2.3 Venda de estrume de coelho

Assim como quase tudo, cada país varia nos seus requisitos relativamente à venda de adubos de origem animal como fertilizante, portanto é essencial que cada cultivador se informe no devido Departamento da Agricultura sobre as actuais regras para venda de adubo.

A maioria dos criadores de coelhos vende sacos e até carregamentos de adubo directamente ao cliente individual. O cliente pode ser fazendeiro, jardineiro, ou alguém que necessita de fertilizante para um jardim. Muitos criadores de coelhos com pequenas coelheiras dão de bom gosto os dejectos, para se descartarem deles. Os preços variam de acordo com quem carrega o adubo, caso seja o fornecedor ou o cliente. É comum os clientes recolherem voluntariamente os dejectos, poupando assim o proprietário de limpar a coelheira.

Os problemas surgem quando o produtor tenta encarecer o estrume, ou deseja ensacá-lo para vender para armazéns de revenda, e é por isso que os fertilizantes provenientes de dejectos de coelho não se encontram geralmente nas prateleiras.

Alguns dos requisitos para revenda de fertilizantes implicam a necessidade de análises aos nutrientes e uma adequada análise aos metais, obtendo, assim, um certificado como fabricante, e o registo do fertilizante. De igual modo, o rótulo deve ser muito específico na informação que contém. Cópias de ambos os relatórios de análises devem ser registadas. Também, as análises aos nutrientes podem variar de uma ninhada de coelhos para outra dependendo do tipo de alimentação e/ou suplementos usados. Fabricantes de fertilizantes são sujeitos a uma inspecção anual das instalações e procedimento e os



armazéns que guardam fertilizantes são também inspeccionados para assegurar uma adequada etiquetagem.

Não há meios de contornar estes requisitos para venda por grosso de fertilizantes para fins de revenda. Se o estrume melhora o crescimento das plantas, então é um fertilizante legítimo e sujeito a todos os regulamentos. Poucos criadores de coelhos estão aptos para produzir as quantidades necessárias para fazer despesa de fabrico profissional de adubo de coelho de forma digna e vantajosa. É altamente improvável que uma pequena operação para fornecer apenas armazéns locais possa cobrir a despesa total do fabrico de fertilizante de coelho estabilizado (url 3).



2 COMPOSTAGEM

Com o objectivo de comparar o efeito do arejamento na compostagem, em ambos os ensaios foram utilizados dois compostores, um com arejamento passivo, e outro com arejamento forçado. No primeiro ensaio o resíduo é constituído por biomassa florestal e dejectos de coelho, mas, como se verificou que os excrementos só por si tinham uma composição favorável à compostagem, no segundo ensaio foi excluída a biomassa.

A experimentação da co-compostagem dos dois resíduos, teve como objectivo gerar uma mistura bem estruturada fisicamente, e equilibrada do ponto de vista da razão C/N.

2.1 CARACTERIZAÇÃO INICIAL DOS SUBSTRATOS

Para a caracterização dos resíduos, foram realizadas análises laboratoriais e calculados os parâmetros que constam da Tabela 2.1 sobre os dejectos de coelho e a biomassa florestal.

Tabela 2.1 - Caracterização dos resíduos originais, dejectos de coelho e biomassa florestal.

Características	Dejectos 1º ensaio	Dejectos 2º ensaio	Biomassa florestal	Dejectos + 14,5% Biomassa 1º ensaio
pH	7,49	8,03	4,50	7,06
Humidade (%btq)	42,00	35,00	31,00	40,41
Sólidos voláteis (%bs)	84,78	88,03	89,00	85,39
Cinzas (%bs)	15,22	11,97	11,00	14,61
Lípidos (%bs)	0,92	0,61	1,38	0,98
Hemicelulose (%bs)	26,42	25,94		
Celulose (%bs)	23,52	25,25	70,00	67,84
Lenhina (%bs)	17,53	19,84		
Azoto Kjeldhal (%bs)	2,82	2,82	1,00	2,55
Azoto amoniacal(%bs)	0,34	0,34	-	-
Proteínas (%bs)	15,50	15,50	3,00	13,69
HC não Fibra (%bs)	0,89	0,90	15,00	2,94
Razão C/N	12,77	13,25	35,57	14,09
Densidade "bulk" (kg/m³)	395	331	169,00	362,23
Composição elementar (%bs)	C	36,00	37,35	35,57
	H	5,36	5,54	5,59
	O	40,45	42,17	43,20
	N	2,89	2,89	0,56



As principais características que a biomassa apresenta são a grande quantidade e a disponibilidade para uso imediato. Segundo avaliações efectuadas por Brito et al. (1979), os resíduos florestais representam cerca de 30% do total de matéria seca produzida por 1 ha de floresta de eucalipto.

As outras vantagens são:

- baixo teor de enxofre, portanto não necessita de processos para controle de emissões;
- baixo teor de cinzas;
- a biomassa é renovável e distribui-se por todo o País, bastando apenas um programa de florestamento ou reflorestamento.

Para diminuir o tamanho dos galhos da biomassa, esta foi um pouco desfeita antes da colocação no compostor. A finalidade da biomassa foi a de fornecer carbono para o compostor, bem como promover o arejamento do material, por meio dos espaços que se formam entre a biomassa e os dejectos de coelho.

2.2 METODOLOGIA DO PROCESSO

Através de variados métodos, foi possível realizar análises aos factores que, em geral, afectam o processo de compostagem.

2.2.1 Análise da fase gasosa

Durante o ensaio de compostagem com biomassa, foi monitorizado diariamente nos dois compostores a percentagem de dióxido de carbono, com um analisador VAISALA *Measurement Indicator* ML70, ligado à unidade de bombagem VAISALA GM70 *Pump*, que suga as amostras directamente dos compostores. A percentagem de oxigénio também foi medida em alguns dias (em que o aparelho estava disponível) através de uma sonda com analisador. No ensaio sem biomassa também foi monitorizado o dióxido de carbono, no entanto apenas se apresentam dados de oxigénio diários, devido à perda dos dados de CO₂.



2.2.2 Análise da fase sólida

A temperatura foi monitorizada através de termopares ligados a um Data *Logger* (Testo 175-T3) que registava, de hora a hora, as temperaturas de ambos os compostores, de modo alternado.

Para caracterizar o material sólido realizaram-se análises aos seguintes parâmetros e pelos métodos referidos:

- Humidade (H) – secagem do resíduo na estufa a 105°C durante 24 horas;
- pH – mistura de 20 g de uma amostra de resíduo em base tal e qual (btq) em 200 ml de solução CaCl_2 0,1M durante 5 minutos com agitação vigorosa, seguida de repouso e análise do sobrenadante por potenciometria com eléctrodo de vidro;
- Sólidos voláteis, (SV) – incineração de amostra a 600 °C durante 2 h;
- Fracção de Sólidos biodegradáveis, $\beta = 0,830 - 0.028 * L$, em que L é o teor em lenhina numa base de sólidos voláteis;
- Lípidos – extracção de Soxhlet com éter numa unidade Soxtec da Tecator, usando cerca de 3 g de amostra seca;
- Azoto Kjeldhal (Total) – seguido o procedimento da Tecator, usando uma unidade *Kjeltec System 1002* (digestão e destilação) usando cerca de 1 g de amostra;
- Azoto Amoniacal – destilação de 1 grama da amostra tal e qual no destilador *Kjeltec System 1002*;
- Azoto Orgânico – diferença entre o Azoto Kjeldhal (total) e o Azoto amoniacal;
- Compostos Lenhinocelulósicos – análise a partir do método de Van Soest sobre 0,5 g de amostra seca e moída de resíduo, determinando-se os Extractíveis e a Hemicelulose com extracções sucessivas com NDF e ADF. A celulose foi determinada numa 3ª extracção com H_2SO_4 72% e a lenhina foi determinada por calcinação da amostra;
- Hidratos de Carbono não fibra (HC não Fibra) – teor em sólidos voláteis menos teor em Proteínas menos teor em Lípidos menos teor em Fibras;



- Hidratos de Carbono (HC) – teor em SV menos teor em proteínas menos teor em lípidos;
- Proteínas – (Azoto Kjeldhal - Azoto Amoniacal) multiplicado por 6,25;
- Razão C/N – razão entre o carbono orgânico total e o azoto Kjeldhal;
- Densidade “bulk” – razão entre a massa do resíduo e o volume por ele ocupado;
- Massa total – pesagem em balança digital;
- Estimativa da composição elementar – determinada com base na caracterização dos substratos em Hidratos de Carbono, Proteínas e Lípidos. As fórmulas típicas destes grupos de compostos orgânicos foram retiradas da bibliografia (Themelis, 2002).
- Fósforo, Potássio e Sódio - digestão das amostras, segundo o método 3050B do Standard Methods, que consiste na digestão ácida da amostra com ácido nítrico e ácido sulfúrico e posterior análise do potássio e do sódio totais por espectrometria de emissão de chama. A determinação do fósforo foi feita por espectrofotometria do visível, seguindo o método do ácido ascórbico, constante do Protocolo 4500P do Standard Methods.

2.3 DESCRIÇÃO DAS INSTALAÇÕES DE COMPOSTAGEM

O primeiro ensaio de compostagem decorreu na Universidade de Aveiro, no exterior, junto aos laboratórios do Departamento de Ambiente e Ordenamento (DAO). Os resíduos utilizados foram dejectos de coelho provenientes de uma Coelheira, situada no Distrito de Aveiro, na freguesia da Gafanha da Encarnação, e biomassa florestal de uma empresa, localizada em Aveiro.

No segundo ensaio, os compostores foram colocados no interior do laboratório de tecnologia do DAO, de modo a existir um maior controlo dos parâmetros exteriores. Outra alteração neste ensaio de compostagem foi o facto do resíduo colocado no compostor ser apenas constituído por dejectos de coelho.



Figura 2.1 – Compostor utilizado nos ensaios de compostagem.

Em ambos os ensaios foram utilizados dois compostores idênticos, em polietileno (Figura 2.1), um com sistema de arejamento passivo, conseguido através da aplicação de tubos verticais perfurados no interior do compostor (Figura 2.2), e outro com arejamento forçado, sendo que o caudal de ar para este último caso era controlado por um rotâmetro (Figura 2.3).



Figura 2.2 – Sistema de arejamento passivo (A.P.).



Figura 2.3 – Sistema de arejamento forçado (A.F.).



No interior do laboratório foi montado um sistema constituído por um Data *Logger* (Testo 175-T3), para o registo da temperatura dos compostores, medida por termopares inseridos nos mesmos, bem como um analisador de CO₂ VAISALA *Measurement Indicator* GM70 com armazenamento de dados. Para que o analisador de CO₂ pudesse analisar automaticamente a fase gasosa dos dois compostores, foi montado um pequeno sistema constituído por três válvulas electromagnéticas de três vias, quatro temporizadores programáveis e uma bomba de diafragma. Na Figura 2.4 está esquematizado o modo de funcionamento das válvulas para o registo de CO₂. Estas foram montadas de forma a funcionarem alternadamente, com a ajuda dos temporizadores. Os temporizadores T_B, T₁, T₂ e T_{ar} foram programados para a bomba (B) do analisador (T_B) sugar amostra do compostor 1 (C₁), do compostor 2 (C₂) e do ar atmosférico, respectivamente. Primeiro ligava-se o temporizador da bomba e da válvula (V₁) do compostor 1, após 10 minutos de purga, o analisador adquiria o valor de CO₂; desligava o T₁ e, após 10 minutos ligava o T₂ para accionar V₂ e o valor de CO₂ só era adquirido passados 10 minutos de purga; desligava o T₂ e depois de 10 minutos ligava T_{ar} que accionava V₃, e após a purga, adquiria o valor de CO₂ do ar atmosférico. Posteriormente eram desligados T_{ar} e T_B e, durante 40 minutos não se registava nada, voltando a iniciar o ciclo de igual forma em intervalos de duas horas.

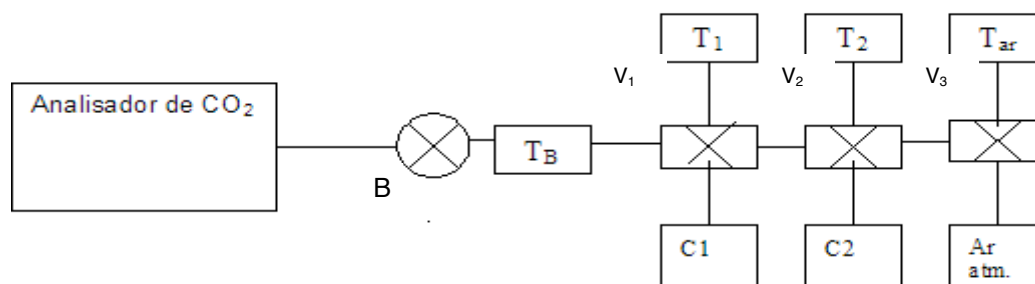


Figura 2.4 - Montagem para a amostragem e aquisição de dados do teor em CO₂ na fase gasosa dos compostores.

2.4 ENSAIOS DE COMPOSTAGEM REALIZADOS

Os ensaios de compostagem decorreram, respectivamente, de 25 de Fevereiro a 3 de Abril e de 26 de Junho a 31 de Julho. O resíduo inserido em cada compostor foi quantificado (Tabela 2.2) e caracterizado de modo a garantir as condições óptimas para o avanço do processo de compostagem.



Para tal, foi determinada a humidade do resíduo e foi calculada a quantidade de água a adicionar, para que a humidade estivesse na ordem dos 60%. O cálculo do caudal de ar necessário, no caso do arejamento forçado, foi obtido em função da fracção de sólidos voláteis, w_{SV} , e da massa seca de resíduo colocada no compostor, $M_{resíduos}$, expressa em kg, através da relação empírica apresentada na Equação 2.1 (Favoino, 2007).

$$Q_{ar} = (w_{SV} * M_{resíduo}) \times 10 [dm^3.h^{-1}] \quad \text{Eq - 2.1}$$

Tabela 2.2 – Composição das misturas inicialmente colocadas nos compostores.

Parâmetros	Ensaio com biomassa		Ensaio sem biomassa	
	A.P	A.F	A.P	A.F
Massa de dejectos (g btq)	58506	56435	63765	60995
Massa de biomassa florestal (g btq)	9904	9143	-	-
Humidade de dejectos (% btq)	42	42	47	35
Humidade de biomassa florestal (% btq)	31	31	-	-
Água adicionada (cm ³)	25897	24960	14828	31207
Humidade no início do processo (% btq)	57	57	57	57

No primeiro ensaio, foi acrescentado ao resíduo de cada compostor um agente de porosidade, constituído por biomassa florestal, destinado a facilitar as trocas gasosas do processo. No entanto, como já foi referido, no segundo ensaio este material não foi utilizado.

No decorrer dos ensaios de compostagem foram monitorizados diariamente: a temperatura, de hora a hora, a percentagem de CO₂ no centro do compostor, em intervalos de duas horas, e o CO₂ ambiente, para comparação. Foram também registados os valores do oxigénio uma vez por dia, sempre que possível. Durante a fase de compostagem activa, além destes parâmetros, foram monitorizados, semanalmente, pH, teor de humidade e sólidos voláteis. No segundo ensaio foi ainda verificada a massa presente nos compostores a cada revolvimento, dado o acesso mais fácil à balança analítica.

Estes parâmetros indicaram o estado da reacção, o que permitiu corrigir a humidade sempre que necessário, assim como o caudal de ar a fornecer, no caso do arejamento forçado. Para tal, os compostores foram abertos e remexidos todas as semanas, para assegurar a homogeneização de todo o resíduo.



No material inicial e final do processo foram também analisados os seguintes parâmetros: lípidos, hemicelulose, celulose, lenhina, azoto total e amoniacal, proteínas, e densidade “bulk”. Para efectuar estas análises, as amostras sólidas recolhidas sofreram um processo de trituração num moinho equipado com um crivo de aproximadamente 1mm de diâmetro, após secagem na estufa.

2.5 RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Aqui são apresentados os resultados dos ensaios experimentais de compostagem, realizados de acordo com a metodologia apresentada em 2.2. Estes parâmetros são importantes para a compreensão de todo o processo e para uma caracterização detalhada do resíduo inicial, assim como do composto final.

Após a obtenção destes dados é possível proceder à avaliação da sua fitotoxicidade com base na Decisão da comissão nº 2001/688/CE.

2.5.1 Caracterização do material no final do processo de compostagem

Em relação ao substrato inicial, o composto obtido mantém-se semelhante em termos de aspecto visual, no entanto, o mau odor desaparece, assemelhando-se a terra (Figura 2.5).



Figura 2.5 . Aspecto do composto final.

Na Tabela 2.3 apresentam-se os resultados da caracterização dos compostos finais, resultantes dos compostores com arejamento passivo (A.P.) e forçado (A.F.) de cada ensaio:



Tabela 2.3 – Caracterização do material no final do processo.

Características	Ensaio com biomassa		Ensaio sem biomassa	
	A.P	A.F	A.P	A.F
Tempo de degradação(h)	900	900	850	850
Massa (g btq)	41396	44698	45326	48000
pH	8,08	7,74	8,23	8,16
Humidade (% btq)	53,00	54,00	46,00	49,00
Sólidos voláteis (%bs)	80,24	77,00	80,18	79,36
Cinzas (%bs)	19,76	23,00	19,82	20,64
Lípidos (%bs)	1,22	0,81	0,41	0,43
Hemicelulose (%bs)	22,13	20,14	18,17	19,84
Celulose (%bs)	19,97	20,75	13,72	9,25
Lenhina (%bs)	12,10	12,89	23,46	26,56
Azoto Kjeldhal (%bs)	3,22	3,03	3,06	3,19
Azoto amoniacal (%bs)	0,29	0,46	0,25	0,20
Proteínas (%bs)	18,33	16,06	17,56	18,69
HC não Fibras (%bs)	6,49	6,35	6,85	4,59
Razão C/N	10,47	10,71	10,96	10,36
Densidade "bulk" (kg/m ³)	230	278	267	282
Composição elementar (%bs)	C	33,72	32,44	33,55
	H	5,12	4,88	5,06
	O	37,91	36,61	38,23
	N	3,42	3,00	3,27

A composição do material final em base seca, não permite uma avaliação directa da degradação dos vários componentes.

Com efeito, num sistema em que a massa total varia com a reacção, o cálculo do grau de conversão, X , só é possível usando massas absolutas, o que raramente é possível, ou fracções mássicas relativas a uma mesma massa.

Por este motivo, define-se arbitrariamente a fracção w_{jCC} em base de cinza constante (bcc) como a fracção mássica que se verificaria se a massa total (seca) de sólidos tivesse permanecido constante e igual ao estado inicial ($m_{s,0}$).

Para a maioria dos materiais sujeitos a compostagem, pode considerar-se que a massa de cinzas permanece constante ao longo do processo.

Assim, sendo w_{ZR} a fracção mássica de cinzas em base seca, e atendendo à definição de w_{jR} (fracção de j em base seca) e de w_{jCC} , (fracção de j em base cinza constante) para qualquer elemento ou componente molecular, j , é possível estabelecer que (Matos, 2007):



$$w_{jCC,t} = w_{jR,t} \frac{w_{ZR,0}}{w_{ZR,t}} \quad \text{Eq - 2.2}$$

Na Figura 2.6 e 2.7 apresentam-se os resultados da caracterização do material no início e no fim do processo para o primeiro ensaio e para o segundo, respectivamente, expressos em base de cinza constante. Nos gráficos, o número 1 refere-se ao sistema com arejamento passivo, e o número 2 ao arejamento forçado. É observável uma alteração na composição do início para o fim em ambos os ensaios, em especial em termos de fibras, que sofrem uma redução de cerca de metade, principalmente no ensaio sem biomassa. Os lípidos mantêm-se praticamente constantes ao longo do processo de compostagem. Os hidratos de carbono não contendo fibras, ou seja, os açúcares, aumentam em ambos os ensaios, com mais evidência no caso do arejamento passivo, ao contrário das proteínas que diminuem.

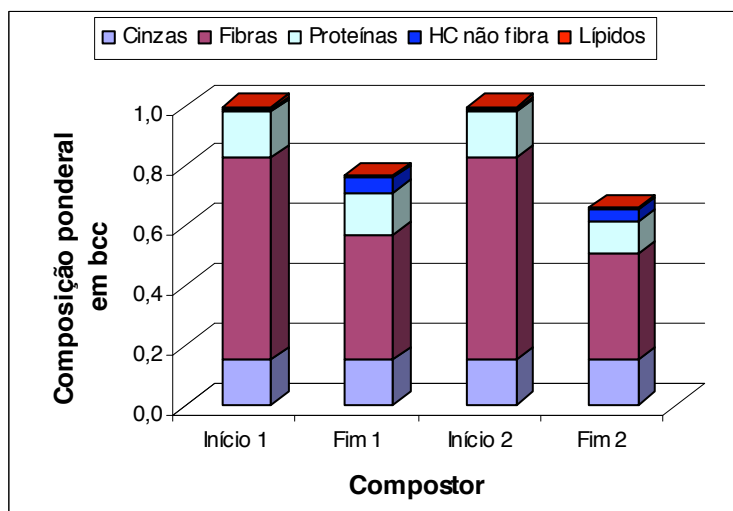


Figura 2.6 - Composição ponderal de ambos os compostores no início e no fim do ensaio com biomassa, em base de cinza constante (bcc).

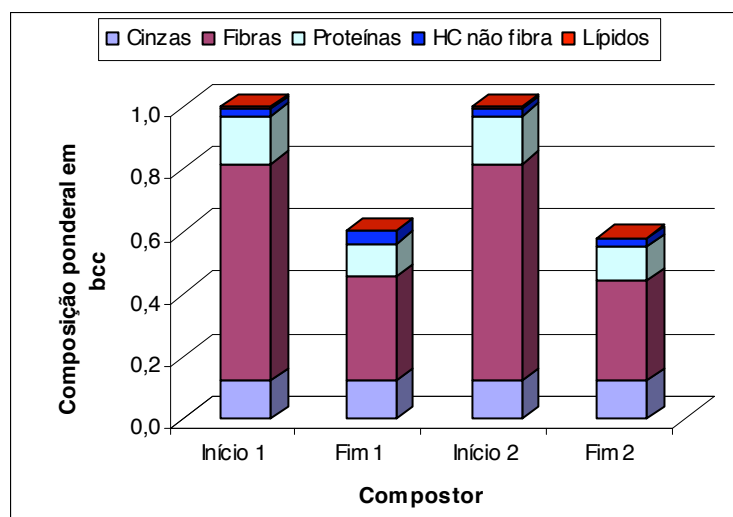


Figura 2.7 - Composição ponderal de ambos os compostores no início e no fim do ensaio sem biomassa, em base de cinza constante (bcc).

2.5.2 Temperatura e teor de CO₂ ao longo do processo

Nas Figuras 2.8 a 2.11 encontram-se representadas as temperaturas e os teores de CO₂ (para o ensaio com biomassa) e O₂ (para o ensaio sem biomassa) dos compostores ao longo dos ensaios efectuados. Como pode ser observado, para todos os compostores, a fase termófila foi iniciada logo nas primeiras horas do processo. A explicação para esse comportamento pode estar relacionada com o tipo de substrato utilizado, dejectos de coelho. Durante o período em que o resíduo permaneceu na coelheira até ser recolhido, o processo de degradação pode ter sido iniciado, fazendo com que no momento do enchimento dos compostores já existisse uma elevada quantidade de microrganismos responsáveis pelo processo. Este comportamento fez com que praticamente não ocorresse a fase mesófila antes da fase termófila, normalmente observada no método de compostagem utilizado.

Relativamente ao primeiro ensaio (com biomassa), no compostor 1 (arejamento passivo) (Figura 2.8) a temperatura e o teor em CO₂ do processo sofreram um grande aumento nas primeiras horas de reacção. Houve um pico de temperatura de 65,3°C após 27 horas de reacção, e o CO₂ atingiu 11,6% passadas 20 horas de reacção. A temperatura e a percentagem de CO₂ descenderam gradualmente, aumentando após os revolvimentos, de forma mais significativa nos primeiros.



No compostor 2, com arejamento forçado, (Figura 2.9) o processo decorreu de forma idêntica, com grandes subidas tanto da temperatura como do CO_2 nas primeiras horas de reacção. A temperatura atingiu $67,7^\circ\text{C}$ após 20 horas de reacção e o CO_2 atingiu 11,2% depois de 18 horas de reacção. No entanto, neste compostor voltaram a ocorrer picos de temperatura e CO_2 . O arejamento forçado provocou descidas bruscas da temperatura durante a madrugada, devido ao arrefecimento dos tubos por onde era fornecido ar comprimido e por estar sujeito à temperatura ambiente. O CO_2 atinge valores superiores neste caso, ou seja, menor percentagem de O_2 , o que se deve, possivelmente, ao facto do arejamento forçado não ter capacidade de fornecer oxigénio a todo o material, visto o distribuidor ter ficado colocado no fundo do compostor.

Os revolvimentos foram realizados em ambos os compostores após 189, 378, 543 e 694 horas de reacção (setas na Figura 2.8 e 2.9), de forma a homogeneizar e arejar o material, acelerando a reacção de decomposição. O registo de CO_2 apenas foi realizado até cerca das 906 horas de reacção, pois o analisador era necessário para outros projectos. O processo foi terminado após 1167 horas de reacção, ou seja, cerca de 50 dias.

De um modo geral, conclui-se que para o ensaio com adição de biomassa florestal, o arejamento passivo é o mais adequado visto não ocorrerem variações bruscas da temperatura como no caso do arejamento forçado.

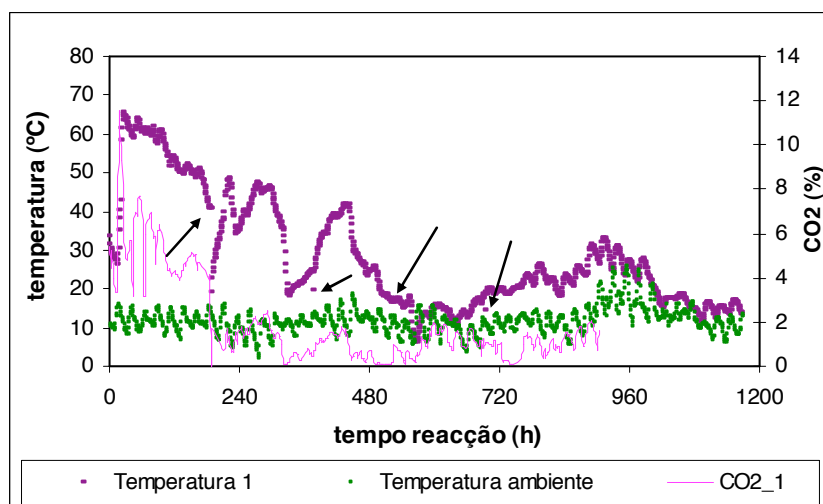


Figura 2.8 - Evolução da temperatura e teor de CO_2 ao longo do ensaio com biomassa, para o compostor com arejamento passivo.

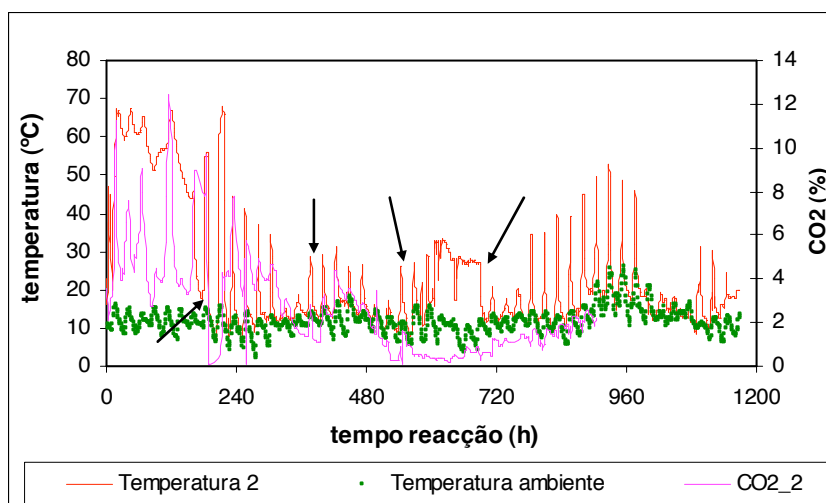


Figura 2.9 - Evolução da temperatura e teor de CO₂ ao longo do ensaio com biomassa, para o compostor com arejamento forçado.

No segundo ensaio, sem adição de biomassa, é evidente uma evolução da temperatura muito mais gradual nos dois compostores, pois estavam situados no interior do laboratório, não havendo influência da temperatura ambiente (Figuras 2.10 e 2.11). A temperatura tem um comportamento muito semelhante para os diferentes tipos de arejamento, mas, no caso do arejamento passivo, são atingidos picos mais elevados, tanto de temperatura como de O₂. No entanto neste ensaio não são atingidas temperaturas tão elevadas pois não contém biomassa florestal, que facilita o arejamento e, portanto, a elevação da temperatura, porém é de notar que a fase termófila é mais longa para este caso.

Os revolvimentos são bem notáveis neste ensaio, foram efectuados também uma vez por semana, após 263, 436, 598 e 770 horas. O processo terminou após 1137 horas de reacção, isto é, 47 dias, no entanto a temperatura continuou a ser monitorizada na fase de maturação até aos 112 dias. Este ensaio também mostra o arejamento passivo como sendo o mais adequado, pois são atingidas temperaturas mais elevadas e a percentagem de O₂ também é superior em relação ao arejamento forçado.

Ambos os processos foram considerados terminados quando a temperatura estabilizou e se aproximou da temperatura ambiente.



A adição de biomassa no primeiro ensaio permitiu o material atingir picos de temperatura mais elevados e também uma maior variação de temperatura relativamente ao ensaio sem biomassa. Este facto pode ser explicado pelo diâmetro das partículas, maiores neste ensaio devido à biomassa, o que aumentou a recirculação de ar no compostor, aumentando as variações de temperatura.

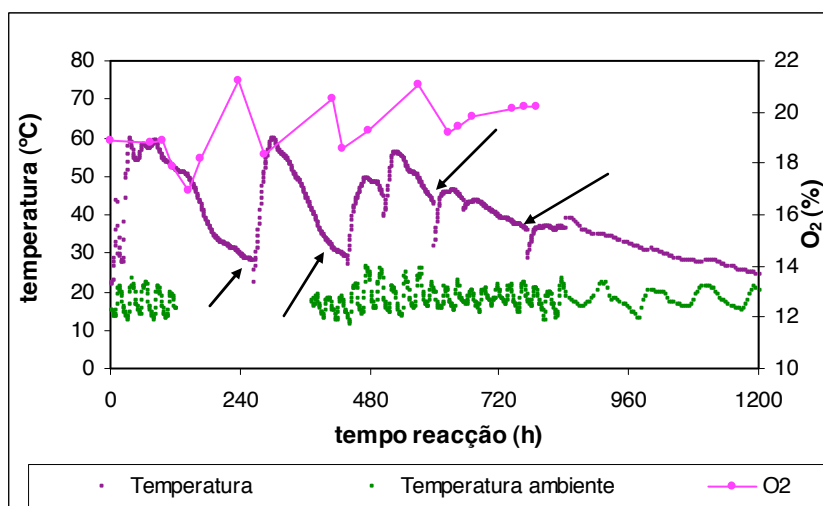


Figura 2.10 - Evolução da temperatura e teor de O_2 ao longo do ensaio sem biomassa, para o compostor com arejamento passivo.

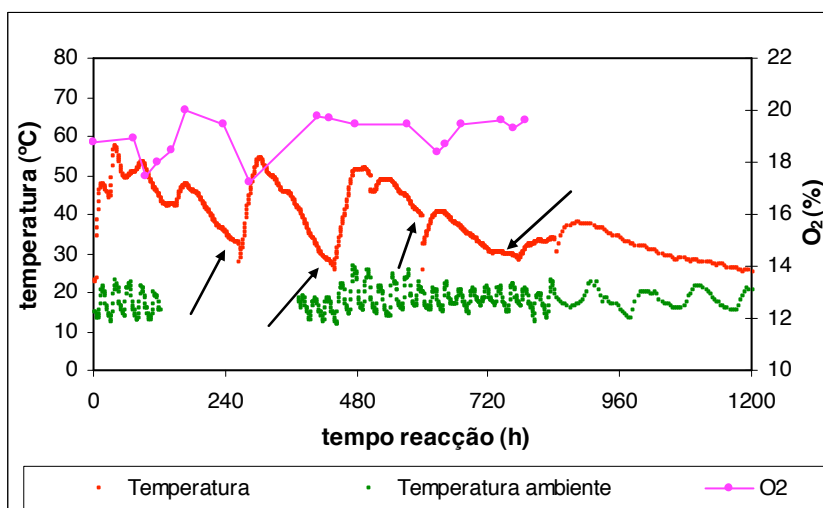


Figura 2.11 - Evolução da temperatura e teor de O_2 ao longo do ensaio sem biomassa, para o compostor com arejamento forçado.

Para o ensaio sem biomassa foi possível monitorizar a temperatura por um período mais longo (Figura 2.12), no entanto não podemos ter grande termo de comparação com a temperatura ambiente pois os compostores neste ensaio estavam situados no interior do laboratório. Contudo verifica-se que a temperatura está a estabilizar, existindo mesmo momentos em que é inferior à temperatura exterior.

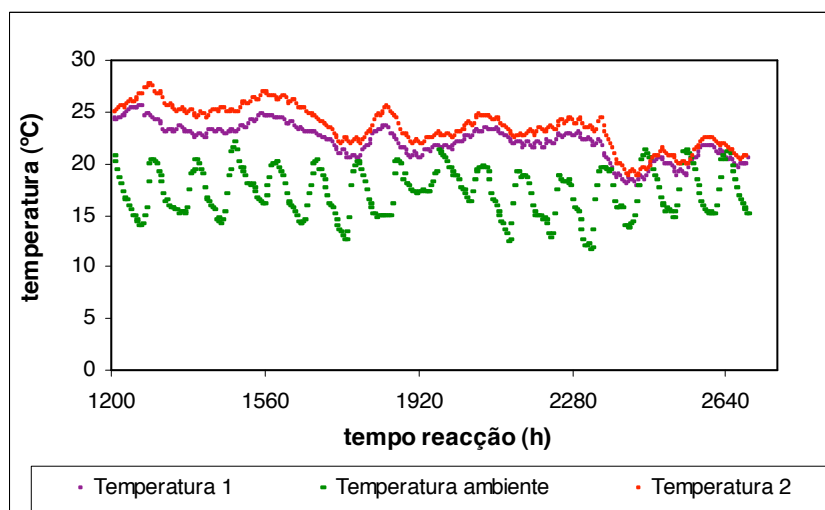


Figura 2.12 - Evolução da temperatura do compostor com A.P (1) e do compostor com A.F (2) e da temperatura ambiente do ensaio sem biomassa, na fase de maturação.

2.5.3 Densidade “bulk” dos compostos

O conceito de compactação do solo não inclui apenas a redução do solo, mas também o resultante decréscimo em permeabilidade para trocas gasosas e água, assim como alterações térmicas e aumento na resistência mecânica do solo. Um solo compactado pode restringir o desenvolvimento radicular normal da planta (Duruoha, Piffer & Silva)

Para caracterização física do resíduo original e dos compostos obtidos, foi efectuada a análise da densidade “bulk”. A massa específica “bulk”, refere-se à massa volúmica do substrato como um todo e determina-se num cilindro plástico com uma razão altura: diâmetro igual à do sistema reaccional (Gomes, A., 2001).

A matéria orgânica reduz a densidade “bulk” do solo, trazendo benefícios e melhorando as características físicas do mesmo. Os solos arenosos, de textura grosseira, apresentam uma densidade que varia de 1,4 a 1,6 g/cm³ e os solos argilosos, de textura fina, apresentam valores de 1,2 a 1,4 g/cm³ (Kiehl, 1985). Segundo Grolli (1991), o valor de densidade considerado satisfatório para propagação de plantas varia de 0,17 a 1,0 g/cm³.



Sendo assim, tanto os solos arenosos como os argilosos necessitam da incorporação de material de menor densidade para atingir a faixa satisfatória.

A adubação com matéria orgânica, quando empregada em quantidade adequada, reduz a densidade aparente da camada que recebeu o material, sendo esse efeito imediato, uma vez que está a incorporar á terra, com densidade semelhante aos valores anteriormente citados, um material cuja densidade média varia de 0,2 a 0,6 g/cm³ (Kiehl, 1985).

Como se pode verificar pela observação das Tabelas 2.1 e 2.3, o valor da densidade “bulk” sofreu uma diminuição do início para o fim do processo de compostagem. No entanto, os dejectos de coelho sem qualquer tratamento já se apresentavam dentro da gama considerada satisfatória por Grolli (1991).

Os compostos gerados no presente estudo apresentaram valores de densidade “bulk” satisfatória, apresentando potencial para melhoria das propriedades físicas do solo e, conseqüentemente, para sua utilização como substrato, trazendo benefícios para o cultivo.

2.5.4 Monitorização do pH

Assim como a temperatura, o pH também foi monitorizado durante todo o processo, porém a monitorização foi realizada semanalmente, aquando dos revolvimentos. Em geral, o comportamento do pH foi semelhante em todos os compostores, mantendo-se entre 7,49 e 8,25, para o ensaio com biomassa e entre 7,75 e 8,23, para o ensaio sem biomassa. A composição inicial dos compostores e os diferentes tipos de arejamento não influenciaram significativamente os valores de pH, como pode ser observado na Figura 2.13.

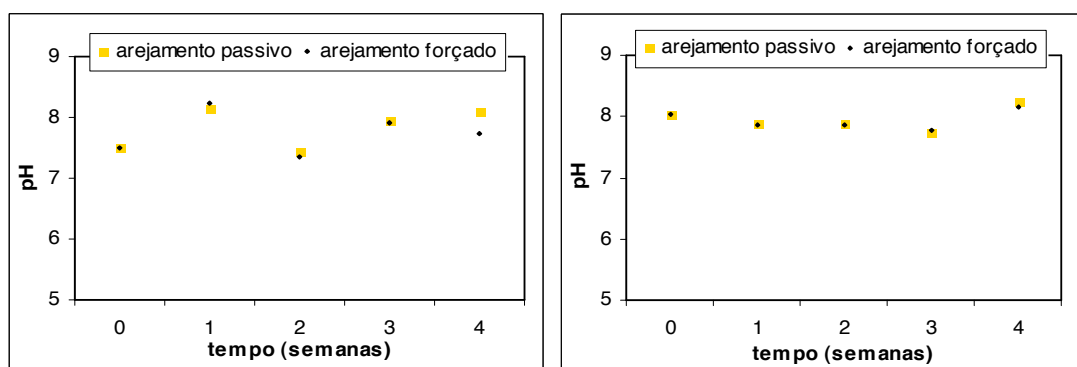


Figura 2.13 - Perfil de variação de pH durante os revolvimentos, para o ensaio com biomassa e para o ensaio sem biomassa, respectivamente.

Segundo Haug (1993), a compostagem tem a habilidade de neutralizar altos e baixos valores de pH durante o processo. Isso deve-se à formação de um ácido fraco (CO_2) e uma base fraca (NH_3), sendo difícil encontrar um processo de compostagem que não esteja na faixa entre 5,0 e 8,5. Deste modo, os compostos obtidos, como apresentam valores de pH básicos, são indicados para utilização como correctivos de solos acidificados.

2.5.5 Avaliação da fitotoxicidade

Antes de ser possível comercializar o composto, é essencial determinar se este é prejudicial ao crescimento das plantas. Para isso, foi realizado o teste de vaso ao resíduo original e aos compostos finais de ambos os ensaios.

Este teste permite avaliar a toxicidade do material em diferentes concentrações de aplicação e a capacidade de tolerância das plantas ao composto (Bidlemaier, 1994). Para uma correcta avaliação, o composto a usar deve ser fresco, senão os resultados obtidos não são viáveis. Neste caso foi feita a avaliação dos compostos e também do material inicial.

Existem várias formas de fazer o preparado para o teste, pode colocar-se o composto em camadas alternadas com terra, ou misturado com terra. A metodologia seguida consistiu em semear 3 g de Azevém (*Lolium Multiflorum*), em vasos com proporções de composto/terra de jardim de 25/75 e 50/50 homogeneizado, e também vasos com 100% de terra para servir de controlo. A colocação das sementes foi feita à superfície, cobrindo-se com 100 ml de terra.



Foram preparadas três réplicas de cada, em vasos de plástico com perfurações na base. Os vasos foram colocados num local protegido das intempéries e com muita luminosidade, sendo regados sempre que era necessário.

O Azevém é uma planta recomendada para o teste, visto ser de rápido crescimento e não necessitar de muitos cuidados para o seu crescimento. Passados 15 dias cortaram-se as plantas pela raiz e colocaram-se na estufa a 80°C durante 24 horas, sendo pesadas posteriormente.



Figura 2.14 - Teste de vaso.

O índice de crescimento (G_m) é a razão entre o peso da amostra seca e o peso seco do controlo (Equação 2.3), e permitiu obter os resultados apresentados na Tabela 2.4. Um composto não é fitotóxico se $G_m > 1$ (Bertoldi et al., 1996).

$$G_m = \frac{M_{amostra\ seco} (g)}{M_{branco\ seco} (g)} \quad \text{Eq - 2.3}$$

Tabela 2.4 – Resultados do teste de vaso e índice de crescimento.

$G_{m\text{médio}}$	Resíduo inicial	Ensaio com biomassa		Ensaio sem biomassa	
		A.P	A.F	A.P	A.F
%V _{composto} /%V _{solo}	25/75	1,12	1,53	1,32	1,40
	50/50	0,74	1,65	1,11	1,39



Quanto maior for o índice de crescimento das plantas, melhor é o composto e, deste modo, pela observação da Tabela 2.4, pode-se verificar que, tanto com 25% como com 50% de composto, a sua aplicação é vantajosa para a germinação ($G_m > 1$).

Podemos também observar uma melhoria da qualidade do composto em relação ao original, como seria de esperar. Em ambos os ensaios, os valores do índice de crescimento são muito próximos para as diferentes aplicações de composto/terra, contudo, no geral, a aplicação de 25% de composto parece ser ligeiramente mais vantajosa.

2.5.6 Análise Microbiológica

O objectivo desta análise foi verificar a presença de *E. coli* e *Salmonella ssp.* nos compostos resultantes do primeiro e segundo ensaios. Para tal é necessário analisar o substrato “fresco”. A análise da actividade microbiológica foi realizada dia 21 de Julho de 2008, depois de cerca de 3 meses do primeiro ensaio (com biomassa) ter terminado e na altura do 3º revolvimento do segundo ensaio (sem biomassa), não estando portanto ainda maturado o resíduo deste último.

O pH e a humidade não influenciaram de forma significativa a actividade microbiológica, uma vez que o primeiro se manteve praticamente constante e a humidade foi controlada durante todo o processo.

A experiência foi realizada nos laboratórios do Departamento de Biologia da Universidade de Aveiro e em seguida são apresentados os procedimentos efectuados.

2.5.6.1 Contagem de *Escherichia coli*

Antes de descrever o procedimento, é de referir que todo o processo foi realizado em condições de assepsia, ou seja, junto à chama do bico de Bunsen e/ou numa câmara de fluxo laminar.

Para a preparação e cultura de microrganismos em laboratório tem que se dispor de material estéril e de meios de cultura isentos de microrganismos viáveis (Alcântara, Cunha, & Almeida, 1996). A experiência consistiu nos seguintes passos:



- 1) Colheita, preparação da amostra (foi feita uma diluição utilizando 10 g de amostra) e da suspensão mãe;
- 2) A um tubo esterilizado, com 9 ml de diluente, juntou-se 1 ml da suspensão mãe;
- 3) Transferência de 1 ml da diluição anterior, com outra pipeta, para outro tubo com 9 ml de diluente. Procedeu-se assim até se obterem as diluições necessárias (10^{-5});
- 4) Transferência de 1 ml da suspensão mãe e das diluições para cada uma das placas de Petri. Incorporação em meio PTX;
- 5) Incubação a 44°C, durante 24 horas;
- 6) Contagem das colónias azuis nas placas para a diluição 10^{-5} , devido à elevada população microbiana presente no processo de compostagem;

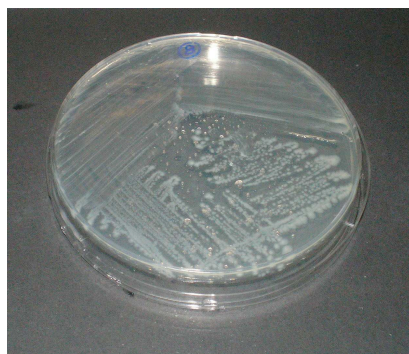


Figura 2.15 - Contagem de E-Coli em placa.

2.5.6.2 Testes de confirmação

Estes testes servem para confirmar se as bactérias encontradas são de facto *E. coli*.

Teste do API

O teste do API foi feito apenas para quatro das amostras (uma de cada compostor, de ambos os ensaios), dado que é um teste de elevado custo e as restantes amostras eram semelhantes. Este teste consiste em colocar quatro tubos com solução de Ringer, retirar uma amostra das respectivas placas, inocular nos tubos e retirar uma amostra para colocar no teste do API (Figura 2.16). Depois de incubar a 37°C durante 24 horas, o teste confirmou que todas as colónias que foram contadas no meio PTX eram *E. coli*.

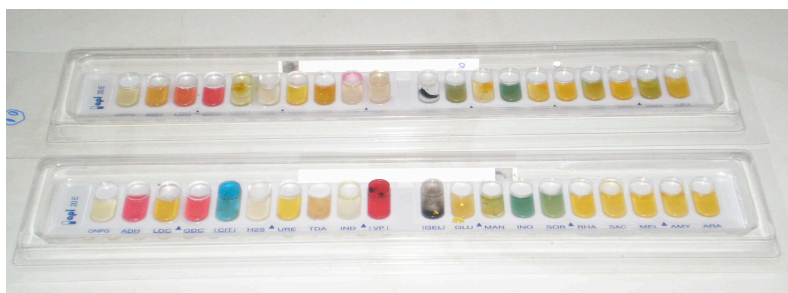


Figura 2.16 - Teste do API.

2.5.6.3 Cálculo das colónias e apresentação de resultados

Foram seleccionadas as placas que não apresentaram contaminação e em seguida feita a contagem das unidades formadoras de colónias. Para facilitar a contagem dividiu-se a placa em quatro partes iguais. Calculou-se o número de unidades formadoras de colónias por grama ou ml da amostra, multiplicando o número de colónias pelo inverso da diluição inoculada (UFC/g ou ml – nº colónias/diluição).

As amostras foram realizadas em duplicado. Considerou-se como número de colónias a média aritmética da contagem obtida em cada uma das placas. De seguida são apresentados os resultados das contagens microbianas para cada ensaio separadamente.

Tabela 2.5 – Contagem do número de Unidades Formadoras de Colónias.

	Ensaio com biomassa		Ensaio sem biomassa	
	A.P	A.F	A.P	A.F
UFC/g	66200	22350	89000	30750

Portanto, em ambos os ensaios o composto contém *Escherichia coli*, ultrapassando os valores do rótulo ecológico que estabelece que os produtos não podem exceder os níveis máximos de *E.coli* em 1000 MPN/g (MPN: número mais provável). O menor número de bactérias no ensaio com biomassa já era de esperar, visto que o ensaio sem biomassa ainda estava a decorrer na altura das análises, no entanto é de notar que o arejamento forçado reduz eficazmente o número de bactérias.



2.5.6.4 Pesquisa de *Salmonella* sp

Foi efectuado o seguinte procedimento para a verificação da presença/ ausência de *Salmonella*:

- 1) Colheita, preparação da amostra (foi feita uma diluição 1:10 utilizando 10 g de amostra) e da suspensão mãe;
- 2) Pré-enriquecimento 1:10 em água de peptona tamponada;
- 3) Incubação a 37°C durante 24 horas;
- 4) Em simultâneo, foi feito o enriquecimento de 1 ml em meio Kaufmann Tetrathionate Novoblocin e de 0,1 ml no meio Rappaport Vassiliadis;
- 5) Incubação a 37°C durante 24 horas para o meio Kaufmann e a 41,5°C durante 24 horas para o meio Rappaport Vassiliadis;
- 6) Isolamento à superfície em XLD e Rambach Agar para ambos os meios;
- 7) Incubação a 37°C durante 24 horas para ambos;
- 8) Verificação da existência de colónias características no meio XLD (são vermelhas com centro negro) e no meio Rambach Agar (são rosa);
- 9) Confirmação por provas bioquímicas (TSI e Ureia);
- 10) Confirmação serológica.

2.5.6.5 Testes de confirmação

Estes testes servem para confirmar se as bactérias encontradas são de facto *Salmonella* sp. Foram apenas utilizadas as amostras suspeitas de *Salmonella*.

Teste TSI

Este teste foi feito seguindo o seguinte procedimento:

- 1) Tocar ao de leve no centro da colónia a ser tomada, com uma ansa estéril, e inocular no meio TSI, cortando o agar e riscando a superfície;



- 2) Incubação a 35°C durante 24 horas +/- 2 horas;
- 3) A *Salmonella* em cultura produz tipicamente declives alcalinos (vermelhos) e, na zona larga, ácido (amarelos), com ou sem produção de H₂S (escurece o ágar) no TSI;

Com este teste confirmou-se a presença de *Salmonella sp.* e, como é possível ver pela Figura 2.18, verifica-se a produção de gás, um factor determinante da presença de *Salmonella*, assim como a produção de H₂S pelo escurecimento do ágar e os declives vermelhos típicos das culturas de *Salmonella*.



Figura 2.17 - Teste TSI.

Teste da Urease

Este teste foi feito seguindo o seguinte procedimento:

- 1) Com uma ansa estéril, inoculou-se o meio (meio de ureia), com colónias presumivelmente positivas, obtidas das culturas dos declives do meio TSI;
- 2) Uma vez que, por vezes, o meio de ureia fica púrpura-avermelhado (teste positivo), incluiu-se um tubo com meio de ureia sem ser inoculado, para servir de controlo;
- 3) Segue-se uma incubação a 35°C durante 24 horas +/- 2 horas.



2.5.6.6 Confirmação de espécies do género *Bacillus cereus*

Teste de Voges- Proskauer (VP)

Para verificar a presença de *Bacillus* foi realizado o teste de confirmação de Voges-Proskauer (VP), realizado do seguinte modo:

- 1) A partir das culturas obtidas, inocularam-se 3 mm em 5 ml de meio MR-VP;
- 2) Incubação a 35°C, durante 48 horas;
- 3) Pipetou-se 1 ml de cada tubo para um tubo vazio e adicionou-se 0,6 ml de alfa-naftol e 0,2 ml de KOH a 40%;
- 4) A leitura dos resultados foi feita 4 horas depois (incubar à temperatura ambiente). O desenvolvimento da coloração para cor-de-rosa indicou resultado positivo.

Coloração de Gram

A coloração de Gram tem um grande significado taxonómico, pois permite dividir as bactérias em dois grandes grupos: Gram positivas e Gram negativas. Quase todas as bactérias clinicamente relevantes podem ser detectadas usando este método. As amostras foram retiradas dos meios PTX, Rambach e XLD, depois de repicados. O procedimento utilizado foi o seguinte:

- 1) Fixação do esfregaço, passando a lâmina pela chama (quatro vezes);
- 2) Após arrefecimento da lâmina, cobriu-se o esfregaço com solução de violeta de cristal, durante um minuto;
- 3) Lavagem com água corrente;
- 4) Cobriu-se o esfregaço com lugol e deixou-se actuar durante um minuto;
- 5) Lavagem com água corrente;
- 6) Descorção com álcool-acetona até que não saia mais cor violeta do esfregaço;
- 7) Lavagem com água corrente;



- 8) Cobriu-se a superfície do esfregaço com safranina (contra-coloração) durante um minuto;
- 9) Lavou-se com água corrente e deixou-se secar;
- 10) Observação ao microscópio, com objectiva de 100x e com óleo de imersão.

Nota: Como as *E. coli* são bactérias Gram negativas, só fixam com safranina.

Estes testes confirmaram a presença de *Bacillus cereus* nos compostos analisados. Os resultados mostram que o processo de compostagem não foi eficaz para eliminação de *E- Coli* e *Salmonella sp.*, o que é de estranhar visto terem sido atingidas as temperaturas necessárias à sua eliminação. Isto pode ser devido ao facto das amostras não terem sido representativas de todo o material.

Tabela 2.6- Temperatura e tempo de exposição necessário para a inactivação de alguns patogénicos e parasitas (Matos, 2007):

ORGANISMO	OBSERVAÇÕES
<i>Salmonelia typhosa</i>	Nenhum crescimento para além de 46°C; morte em 30 min a 55 -60°C e em 20 min a 60°C; destruição em pouco tempo com o composto no meio ambiente.
<i>Salmonelia sp.</i>	Morte em 1h a 55°C e em 15 -20 min a 60°C.
<i>S higella sp.</i>	Morte em 1h a 55°C.
<i>Escherichia coil</i>	A maioria morre em 1h a 55°C e em 15 -20 min a 60°C.

2.5.7 Fungos

Os ecossistemas terrestres teriam entrado em colapso sem a presença de fungos e de bactérias. Estes organismos decompõem os cadáveres, as folhas mortas, as fezes e outros materiais orgânicos, reciclando assim elementos químicos vitais como o carbono, o azoto e o fósforo sob a forma de compostos minerais que podem ser utilizados por outros organismos. Pela decomposição, os elementos que fazem parte da matéria orgânica morta podem ser reutilizados para a formação e novas gerações de seres vivos, assegurando a continuidade da vida na Terra.

É usual em processos de compostagem com dejectos de animais surgirem fungos ao longo do processo, como aconteceu no presente estudo. Em contraste com as plantas, os fungos são incapazes de assimilar CO₂ como fonte de carbono, pois não possuem pigmentos fotossintéticos nem cloroplastos.

Os fungos são seres heterotróficos que obtêm o alimento por absorção. Depois das bactérias, os microfungos são os organismos mais importantes em biotecnologia. Eles possuem um núcleo bem diferenciado e geralmente reproduzem-se sexuadamente ou assexuadamente, com a formação de esporos. As classes mais importantes são: Ascomycetos, Basidiomycetos e Deuteromycetos.

Em ambos os ensaios foi notória a presença de *Aspergillus fumigatus*. Os esporos de *Aspergillus* estão distribuídos amplamente no meio ambiente, especialmente em locais contendo matéria orgânica em decomposição (url 38).

No ensaio com biomassa verificou-se a presença de cogumelos, estes encontravam-se sempre à superfície do compostor, pois no interior do mesmo as temperaturas elevadas atingidas não permitiram a sua proliferação. Foi feita a identificação de cada grupo através das características fenotípicas e observou-se que todos os cogumelos encontrados pertenciam à classe dos *Basidiomycetos* e que apresentavam pouca diversidade morfológica, sendo observado que todos pertenciam à família *Coprinaceae*. Os membros desta família são conhecidos por terem esporos pretos ou castanhos e geralmente são frágeis (Silva, Gramaxo, Santos, Mesquita & Baldaia, 2001).

Foram identificados, dentro da família *Coprinaceae*, as espécies *Coprinus Comatus*, *Coprinus Atramentarius* e *Coprinus* Sp. O traço mais característico deste grupo é o facto da cabeça do cogumelo tornar-se preta e derreter num líquido preto que transporta os esporos (url 2).

Na espécie *Coprinus Comatus* o chapéu não abre como na maioria dos outros cogumelos, mantendo-se na forma cilíndrica, e é coberto por escamas, dando-lhe um aspecto felpudo. O talo estende-se até à ponta da cabeça do cogumelo e encerrado entre o chapéu e o talo encontram-se lâminas brancas (Figura 2.18) (url 2).



Figura 2.18 - Exemplar da espécie *Coprinus Comatus* encontrada no processo de compostagem.

A espécie *Coprinus Atramentarius* (Figura 2.19) apresenta o chapéu estriado e coberto por pequenas penugens fibrosas brancas que são facilmente removidas ao tocar. O caule é branco e relativamente peludo na base, junto ao composto neste caso, e os seus esporos são pretos (url 2).



Figura 2.19 - Exemplar da espécie *Coprinus Atramentarius* encontrada no processo de compostagem.

A espécie *Coprinus Sp.* (Figura 2.20) é semelhante à *C. Atramentarius* quando é jovem, no entanto, o chapéu não se dissolve na maturidade, mas as lâminas desintegram-se gradualmente deixando nítido um chapéu que se enrola para dentro. Os esporos também são pretos (url 2).



Figura 2.20 - Exemplar da espécie *Coprinus* (vista da parte externa e interna do chapéu).

2.5.8 Classificação do composto

Com a análise dos testes de fitotoxicidade e as restantes características determinadas, podemos avaliar que tipo de composto foi obtido e as suas possibilidades de utilização.

Tendo em conta o rótulo ecológico (Tabela 2.7), verifica-se o cumprimento dos seguintes critérios ecológicos: o composto não contém turfa, o seu teor em matéria orgânica decorre da transformação de resíduos, neste caso, compostagem de dejectos de coelho, não contém lamas de depuração e não existem minerais extraídos de zonas protegidas. Em relação aos contaminantes físicos, o composto não contém vidro, metal ou plástico.



No entanto, a concentração de azoto total no composto, apesar de se aproximar dos valores limite estabelecidos, ultrapassa os valores para atribuição do rótulo ecológico (Tabela 2.8).

Tabela 2.7 - Critérios para atribuição a compostos do Rótulo Ecológico Europeu de acordo com a Decisão 2006/799/CE de 3 de Novembro.

Parâmetro	Requisitos							
Ingredientes	✓	Não podem conter turfa						
	✓	Podem conter lamas de depuração desde que provenham de uma só fonte e cumpram todos os critérios a seguir definidos, nomeadamente o teor em metais pesados						
	✓	O seu teor em matéria orgânica deve decorrer da transformação e/ou reutilização de resíduos						
	✓	Só pode conter minerais que não tenham sido retirados de sítios notificados de importância comunitária nem da rede Natura 2000						
Substâncias Perigosas [mg/kg]	✓	Zn: 300	✓	Cd: 1	✓	Cr: 100	✓	As*: 10
	✓	Cu: 100	✓	Pb: 100	✓	Mo*: 2	✓	F*: 200
	✓	Ni: 50	✓	Hg: 1	✓	Se*: 1,5		
*apenas se contiverem materiais provenientes de processos industriais								
Contaminantes Físicos	✓	Granulometria de 2 mm						
	✓	Teor em vidro, plástico e metal inferior a 0,5% da massa seca						
Azoto	✓	Concentração máxima de 3%, em massa, e N inorgânico até 20% do N total						
Comportamento do produto	✓	Devem conter no mínimo 25% de massa seca e 20% de matéria orgânica em relação à massa seca;						
	✓	Não podem ter efeitos negativos na germinação nem no crescimento das plantas						
Saúde e Segurança	✓	Não podem exceder os limites:						
		- Salmonella: ausência em 25g						
		- Ovos de helmintas: ausência em 1,5g						
		- E. Coli: <1000 NMP/g						
Sementes e propágulos	✓	Não pode exceder as 2 Un/L						
Informações fornecidas com o produto	✓	Nome e endereço da entidade responsável pela colocação do produto no mercado						
	✓	Descritor que identifique o tipo do produto e que inclua “correctivo de solos”;						
	✓	Código de identificação do lote						
	✓	Quantidade (em massa ou volume)						
	✓	Indicação das principais matérias utilizadas no produto						
	E ainda:							
	✓	Condições de armazenamento e data-limite recomendadas;						
	✓	Instruções para um manuseamento e utilização seguros;						
	✓	Descrição dos fins a que se destina o produto e indicação de restrições à sua utilização;						
	✓	Indicação dos grupos específicos de plantas aos quais o produto se destina;						
	✓	pH e razão C:N;						
	✓	Declaração relativa à estabilidade da matéria orgânica;						
	✓	Métodos de utilização recomendados;						
✓	Em aplicações não profissionais: dose de aplicação recomendada, expressa em quilogramas ou litros de produto por unidade de superfície (m ²) por ano.							



Tabela 2.8 - Valores de concentração de azoto determinados nos ensaios e valores apresentados no Rótulo Ecológico Comunitário.

Azoto	Ensaio com biomassa		Ensaio sem biomassa		Valor limite REC
	A.P	A.F	A.P	A.F	
Total (% bs)	3,22	3,03	3,06	3,19	<3
Orgânico (% bs)	2,93(=0,91* Azoto _{total})	2,57(=0,85* Azoto _{total})	2,81(=0,92* Azoto _{total})	2,99(=0,94* Azoto _{total})	>0,8*Azoto _{total}

Quanto ao comportamento do produto, este nunca atinge os 25% em massa, de matéria seca, estabelecidos pelo REC, apenas possui uma percentagem de matéria orgânica superior à mínima exigida.

Através dos testes de vaso, verifica-se que os produtos não têm efeitos negativos na germinação das plantas ou no seu crescimento posterior.

Os critérios de saúde e segurança, referentes à presença de *Salmonella* e *Escherichia coli* não se verificam, visto que o composto ultrapassa os valores limite estabelecidos pelo rótulo ecológico.

Segundo os dados da bibliografia (url 9), podemos classificar os compostos como sendo correntes, sendo os que possuem uma qualidade mínima para utilização generalizada na agricultura. No entanto, os compostos resultantes dos dois ensaios podem também ser classificados como composto biológico, por terem origem em estrume de animais e também detritos vegetais, no caso do primeiro ensaio.

2.6 TRATAMENTO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

2.6.1 Grau de conversão e redução de volume

Com base na caracterização do resíduo inicial, dos compostos e na quantificação do material de entrada e de saída de cada compostor, podemos calcular o grau de conversão de cada constituinte do resíduo, bem como a percentagem de redução de massa e volume de resíduo obtido em cada compostor. O cálculo do grau de conversão e da percentagem de redução de volume teve em conta que o material inicial e os compostos finais tinham humidades diferentes, como tal todos os cálculos efectuados foram realizados em base seca (Matos e Pereira, 2004).



Podemos observar através da Figura 2.21 que, para o ensaio com biomassa, o compostor com arejamento forçado apresenta um grau de conversão mais elevado em termos de sólidos voláteis, proteínas, lípidos e fibras, que se deve ao arejamento forçado a que este compostor foi submetido, acelerando a degradação. É contudo bastante claro que o grau de conversão é inferior neste ensaio relativamente ao ensaio sem biomassa, o que será justificado pelo elevado teor de lenhina que caracteriza a biomassa florestal.

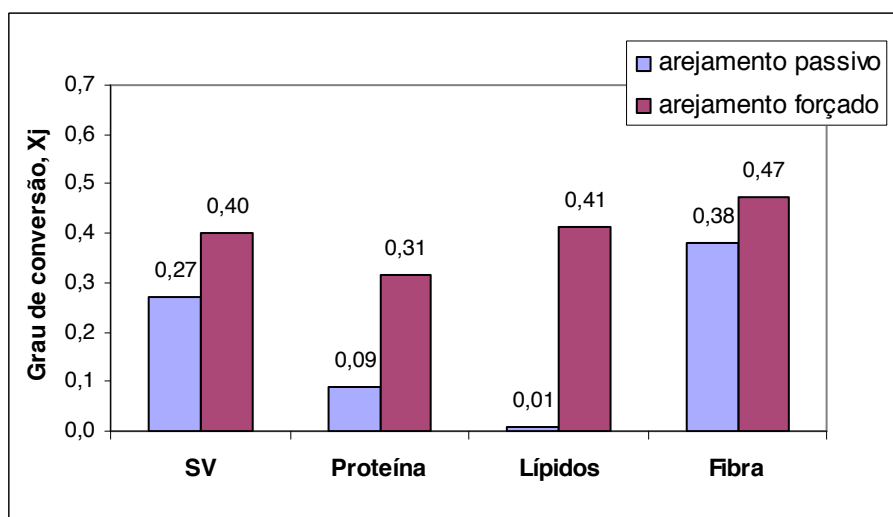


Figura 2.21 - Grau de conversão de componentes para o ensaio com biomassa.

Pela Figura 2.22, verificamos que, de um modo geral, em termos de conversão de componentes no ensaio sem biomassa, os compostores não apresentam diferenças muito significativas. Segundo Pereira Neto (1987), um processo de compostagem eficiente deve reduzir o teor de sólidos voláteis para cerca da metade do seu valor inicial, o que acontece no caso do ensaio sem biomassa, e que se deve precisamente ao facto desta não estar presente porque é muito difícil a sua degradação, por isso no primeiro ensaio se obteve uma degradação de SV mais baixa.

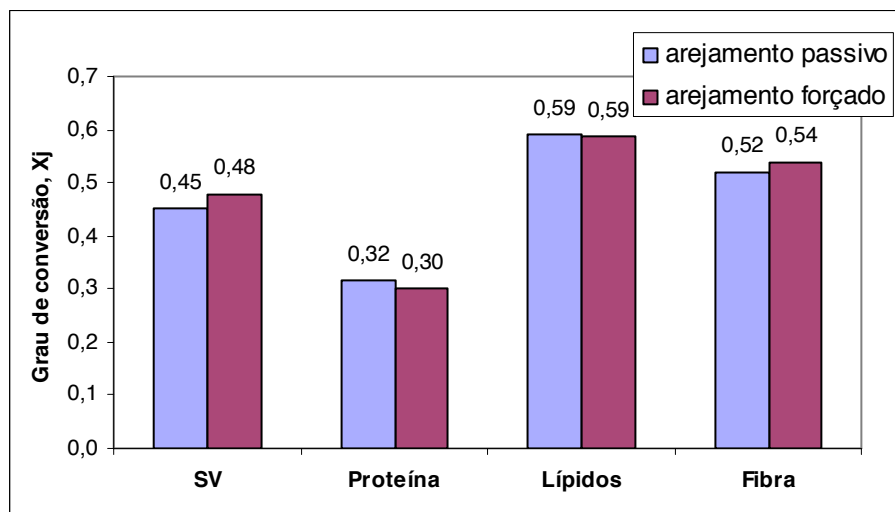


Figura 2.22 - Grau de conversão de componentes para o ensaio sem biomassa.

Relativamente à redução de volume, foi ligeiramente superior no ensaio com biomassa, e foi maior nos compostores com arejamento forçado (Figura 2.23).

A redução do volume nos compostores nunca atingiu os 20%, o que, de acordo com os valores típicos para RSU (30% – 40%), indicam um processo de degradação incompleto (Matos & Pereira, 2004). Esta situação pode ser explicada pelo facto dos dejectos de coelho serem esferas porosas, que conferem uma textura ao material que não sofre grande alteração em termos de volume, visto ocorrer a gaseificação ao nível dos seus macroporos.

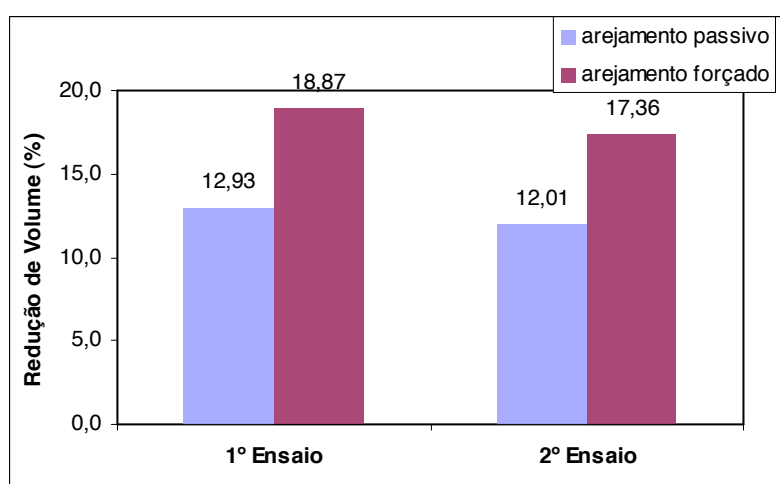


Figura 2.23 - Redução de volume para o 1º Ensaio (com biomassa) e para o 2º Ensaio (sem biomassa).



2.6.1.1 Degradação da Hemicelulose, Celulose e Lenhina

Como podemos observar pelas Figuras 2.24 e 2.25, a redução de hemicelulose e celulose é superior no ensaio sem biomassa. A lenhina, por outro lado, sofre uma maior degradação no ensaio com biomassa, o que se deve possivelmente à presença de Basidiomycetos, que são os principais degradadores da lenhina e que não se encontraram presentes no ensaio sem biomassa.

Em relação à percentagem de lenhina em base seca (ver Tabela 2.1 e 2.3), o ensaio sem biomassa apresentou um aumento devido à degradação da lenhina pelos microrganismos presentes na compostagem, ser pequena em relação à perda de massa dos compostos.

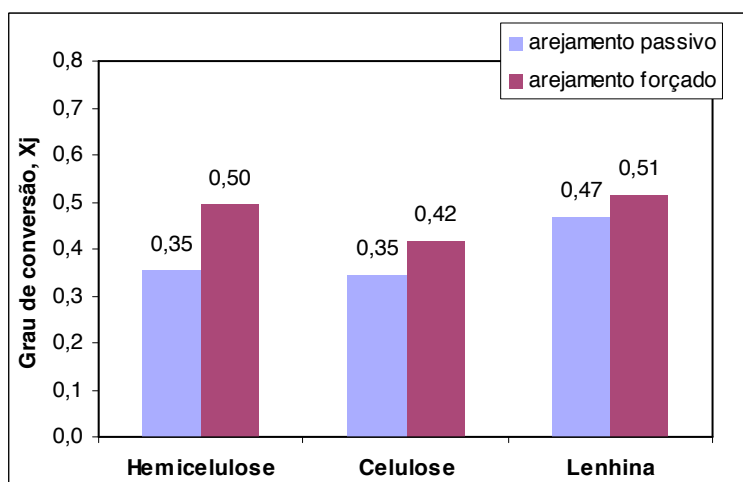


Figura 2.24 - Grau de conversão de Fibras no ensaio com biomassa.

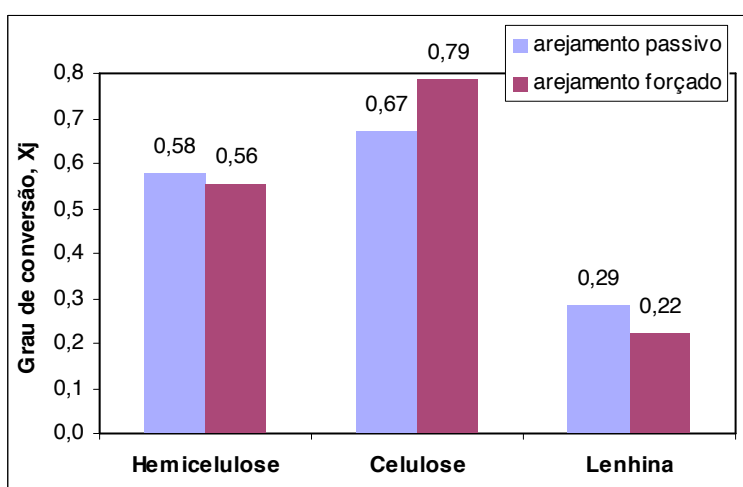


Figura 2.25 - Grau de conversão de Fibras no ensaio sem biomassa.



Quanto à evolução dessa degradação ao longo do tempo, a realização de amostragens nos momentos de revolvimento permitiu obter valores de fracção mássica de humidade e de sólidos voláteis no material em degradação nesses momentos, os quais, por sua vez, permitiram determinar os graus de conversão de matéria orgânica biodegradável, nesses mesmos momentos, numa base de cinza constante, com recurso à Equação 2.4.

$$X_{SV} = 1 - \frac{w_{ZR}(1 - w_{ZP})}{w_{ZP}(1 - w_{ZR})} \quad \text{Eq - 2.4}$$

Através dos graus de conversão obtidos, foi possível estimar as massas de SV presentes nos compostores (Equação 2.5) e, em sequência, as massas secas e as massas húmidas.

$$M_{SVi} = M_{SV0}(1 - X_{SVi}) \quad \text{Eq -2.5}$$

Para o ensaio com biomassa, essa evolução encontra-se representada nas Figuras 2.26 e 2.27, e para o ensaio sem biomassa, nas Figuras 2.28 e 2.29, onde se pode observar um decréscimo, ao longo do processo, dos parâmetros calculados, numa base de cinza constante. As Tabelas 2.9 e 2.10 resumem esse cálculo, para o ensaio com biomassa e sem biomassa, respectivamente.

Tabela 2.9- Grau de conversão nos momentos de amostragem no compostor com arejamento passivo (A.P) e arejamento forçado (A.F) para o ensaio com biomassa.

Tempo (h)	X _{SV} (A.P)	X _{SV} (A.F)
0		
190	0,1384	0,1961
386	0,2277	0,3557
554	0,1961	0,3922
698	0,2807	0,4092

Tabela 2.10- Grau de conversão nos momentos de amostragem no compostor com arejamento passivo (A.P) e arejamento forçado (A.F) para o ensaio sem biomassa.

Tempo (h)	X _{SV} (A.P)	X _{SV} (A.F)
0		
263	0,2273	0,3711
436	0,3616	0,4040
598	0,3953	0,4269
770	0,4477	0,4751

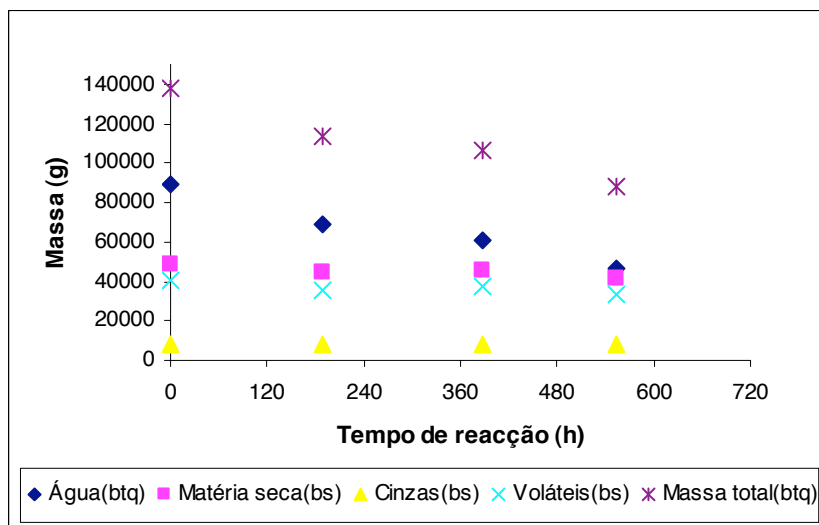


Figura 2.26 - Evolução das massas totais do ensaio com biomassa, no compostor com arejamento passivo.

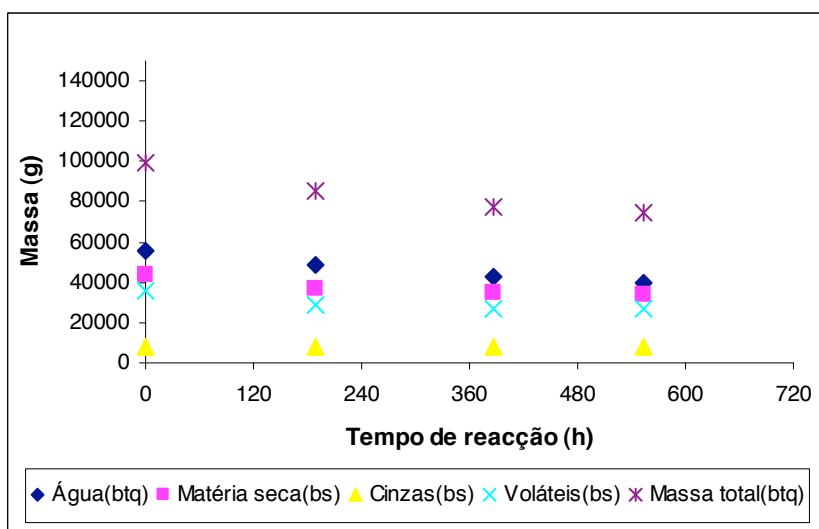


Figura 2.27 - Evolução das massas totais do ensaio com biomassa, no compostor com arejamento forçado.

Os ligeiros aumentos apresentados no ensaio sem biomassa (Figuras 2.28 e 2.29), que se verificam em termos de massa total e massa de água, dizem respeito aos momentos de adição de água ao processo.

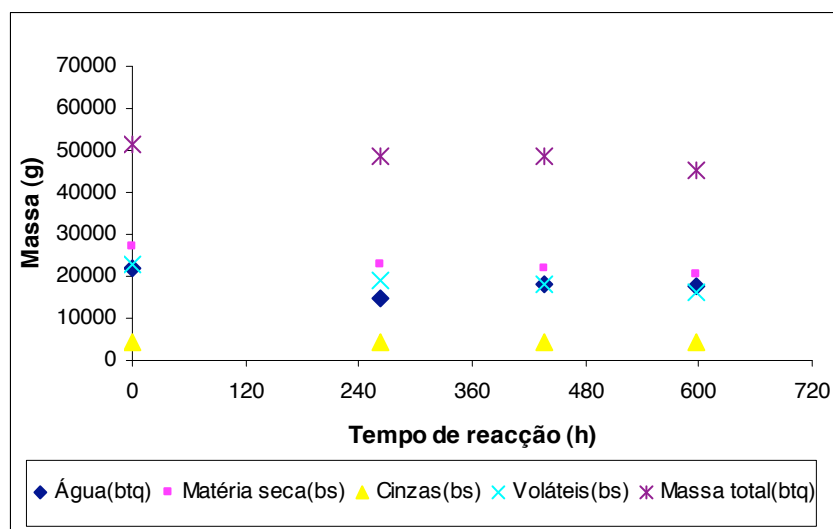


Figura 2.28 - Evolução das massas totais do ensaio sem biomassa, no compostor com arejamento passivo.

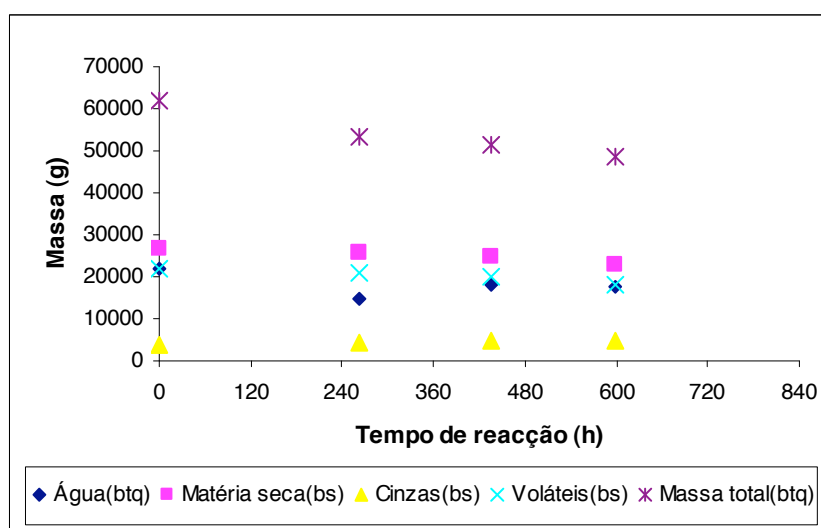


Figura 2.29 - Evolução das massas totais do ensaio sem biomassa, no compostor com arejamento forçado.

Durante o processo de compostagem, à medida que a massa de composto diminuiu devido à degradação da matéria orgânica, percebeu-se uma perda de humidade. Este comportamento foi evidente, principalmente, nos dias em que foram realizados os revolvimentos, altura em que algumas partes do resíduo apresentavam-se esbranquiçadas (Figura 2.30) e ocorria levantamento de muitas partículas ao revolver, formando um bio-aerossol que contém *Aspergillus*, sendo sempre necessário adicionar água. Em nenhum momento da monitorização foi necessária a aplicação de técnicas para redução da humidade.

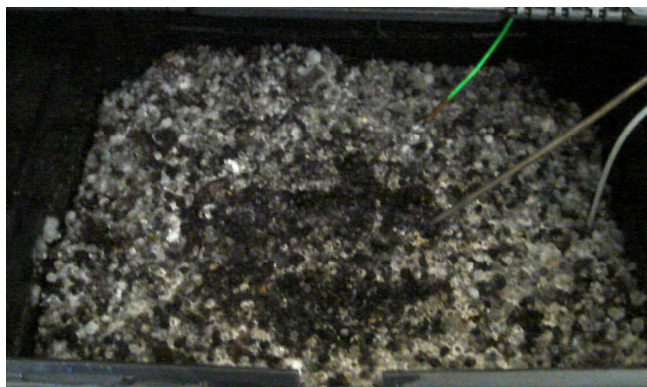


Figura 2.30 - Imagem do resíduo esbranquiçado num dos compostores.

2.6.2 Nutrientes

No início e no fim de cada ensaio foi determinada a percentagem em azoto total (sob a forma de azoto Kjeldhal), amoniacal e orgânico presente na fase sólida, desprezando-se o azoto sob a forma de NO_x por se considerar uma contribuição irrelevante neste tipo de resíduo.

De seguida está representada a evolução da massa total de azoto para ambos os ensaios (Figuras 2.31 e 2.32). Entre o ponto inicial e final verifica-se que a quantidade de azoto diminuiu durante o processo, principalmente devido à diminuição do azoto orgânico, havendo uma menor variação na massa de azoto amoniacal no resíduo. Apesar de a massa de azoto total ter diminuído, o teor em base seca aumentou ligeiramente (ver Tabelas 2.1 e 2.3). Este aumento relativo no teor de azoto total em base seca, ocorreu devido ao decréscimo da matéria orgânica nos compostores, uma vez que a perda desse material através da sua oxidação a CO_2 , é bem maior que a perda de azoto relacionada ao seu consumo pelos microrganismos.

Relativamente à massa de azoto, a sua diminuição está associada ao crescimento de microrganismos nitrificadores, que transformaram o azoto amoniacal em nitratos e nitritos, que não foram medidos neste estudo pois o método de Kjeldhal não mede esses teores.

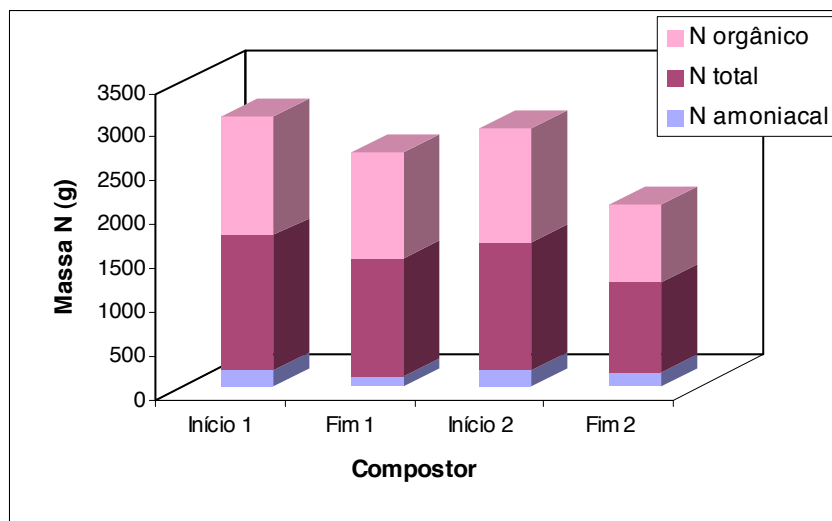


Figura 2.31 - Evolução da massa total de azoto do ensaio com biomassa, para o arejamento passivo (1) e para o arejamento forçado (2).

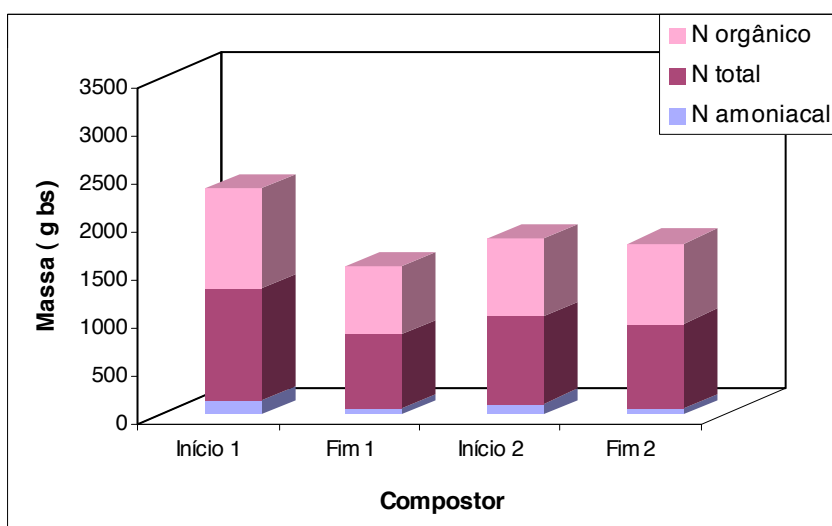


Figura 2.32 - Evolução da massa total de azoto do ensaio sem biomassa, para o arejamento passivo (1) e para o arejamento forçado (2).

Após caracterizar o resíduo inicial e os compostos finais, determinou-se a concentração de fósforo, potássio e sódio no resíduo inicial e nos compostos, após digestão das amostras, segundo o método 3050B do Standard Methods, que consiste na digestão ácida da amostra com ácido nítrico e ácido sulfúrico. Posteriormente analisou-se o potássio e o sódio totais por espectrometria de emissão de chama. A determinação do fósforo foi feita por espectrofotometria do visível, seguindo o método do ácido ascórbico, constante do Protocolo 4500P do Standard Methods.



As amostras depois de digeridas foram recuperadas num volume final de 50ml, tendo sido necessário efectuar diluições. Um factor de diluição de 3125 vezes para análise do fósforo, através de interpolação na recta da Figura 2.33; um factor de diluição de 62,5 vezes para análise do potássio, através de interpolação na recta da Figura 2.34 e um factor de diluição de 25 vezes para análise do sódio, através de interpolação na recta da Figura 2.35.

Os resultados das concentrações fósforo, potássio e sódio apresentam-se na Tabela 2.11.

Tabela 2.11 – Concentrações de Fósforo, Potássio e Sódio.

		Massa amostra digerida (g)	Absorvância	Concentração m/m (ppm)
Resíduo Original	Fósforo	0,9869	0,124	170,35
	Potássio		0,684	20,29
	Sódio		0,621	2,22
Ensaio Biomassa (A.P)	Fósforo	0,9843	0,130	243,46
	Potássio		0,679	27,25
	Sódio		0,603	2,86
Ensaio Biomassa (A.F)	Fósforo	0,9889	0,141	266,97
	Potássio		0,617	24,39
	Sódio		0,582	2,69
Ensaio s/ Biomassa (A.P)	Fósforo	0,98365	0,149	283,00
	Potássio		0,796	32,86
	Sódio		0,659	3,33
Ensaio s/ Biomassa (A.F)	Fósforo	1,00735	0,199	390,94
	Potássio		0,854	35,78
	Sódio		0,689	3,57

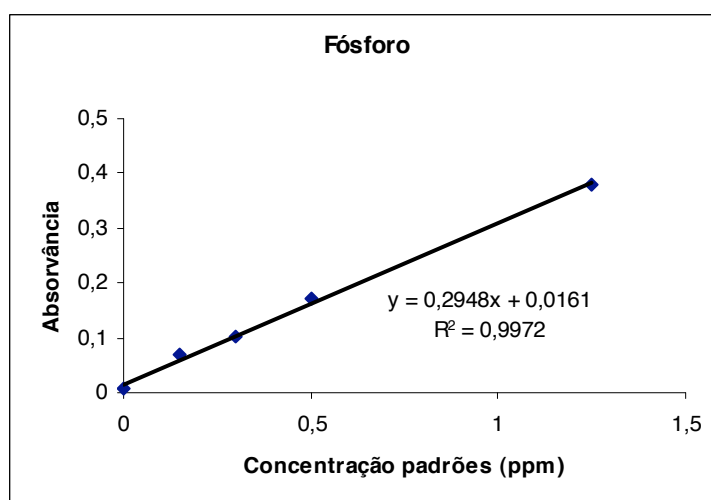


Figura 2.33 – Recta de calibração para o Fósforo por espectrofotometria do visível.

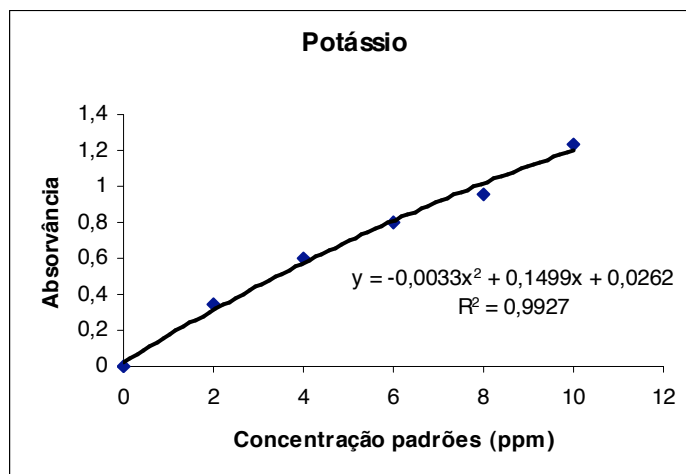


Figura 2.34 – Curva de calibração para o Potássio por espectrometria de emissão de chama.

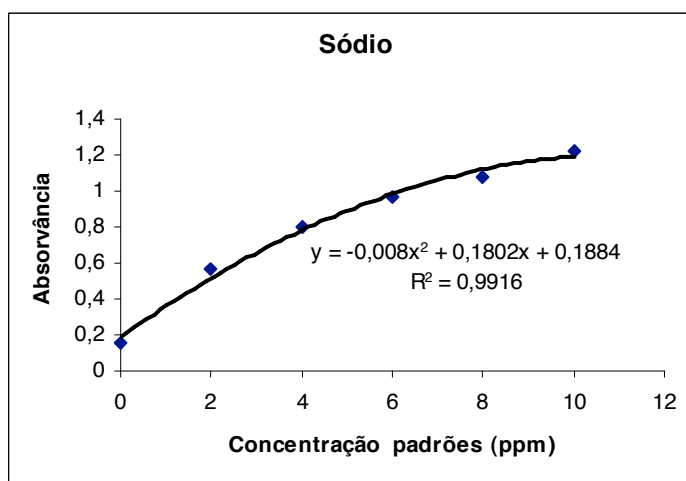


Figura 2.35 – Curva de calibração para o Sódio por espectrometria de emissão de chama.

Pela observação da Tabela 2.11 e das Figuras 2.36 e 2.37, verifica-se que a concentração de nutrientes aumenta em todos os ensaios. Este aumento é superior para o caso do arejamento forçado (referenciado com o número 2), do ensaio sem biomassa (Figura 2.37). Neste caso, o composto final surge mais enriquecido nestes nutrientes, como consequência da volatilização da matéria orgânica.

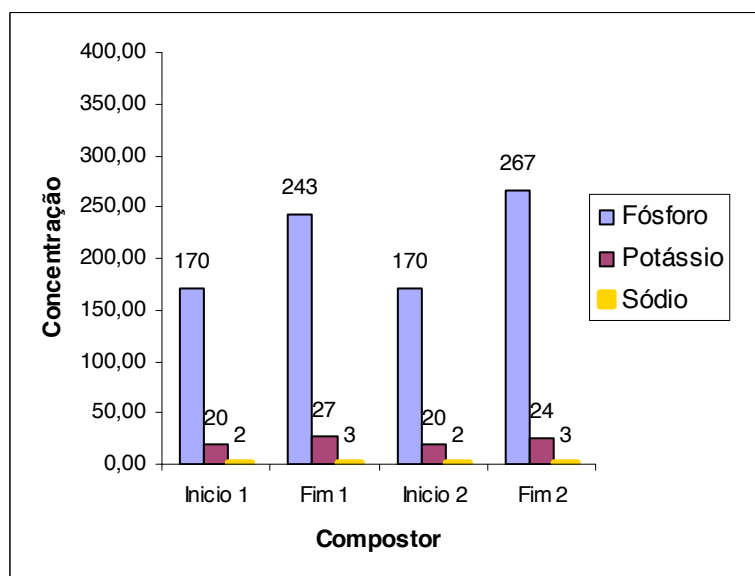


Figura 2.36- Teores de Macronutrientes, para o ensaio com biomassa.

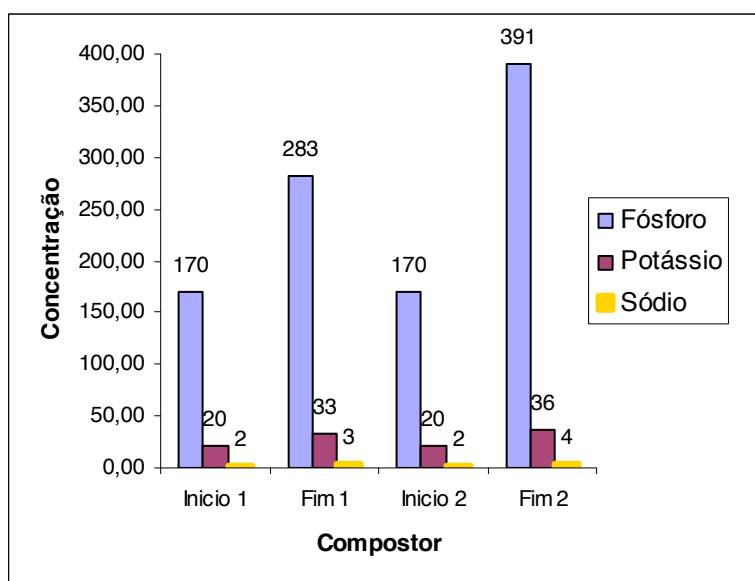


Figura 2.37 - Teores de Macronutrientes, para o ensaio sem biomassa.

2.6.3 Estequiometria do processo

A composição molecular do substrato pode ser estimada tendo por base a fracção mássica de cada um dos componentes, através da determinação do teor em hidratos de carbono, proteínas e lípidos. Conhecendo a fórmula química típica dessas moléculas, é possível estimar a fórmula empírica da matéria orgânica (Themelis, 2002),



- Hidratos de carbono $C_6H_{10}O_5$,

- Proteínas $C_2H_5O_2N$,

- Lípidos $C_{16}H_{32}O_2$.

As fórmulas químicas para o resíduo inicial e final do primeiro e segundo ensaios, são apresentadas nas Tabelas 2.12 e 2.13, respectivamente, em que se verifica que o composto sofre um ligeiro enriquecimento em azoto, o que é confirmado pela diminuição da razão C/N do início para o fim do processo.

Tabela 2.12- Fórmula química dos substratos do ensaio com biomassa.

	Fórmula Química
Resíduo inicial	$C_{15}H_{26}O_{12}N$
Composto 1 (arejamento passivo)	$C_{12}H_{21}O_{10}N$
Composto 2 (arejamento forçado)	$C_{13}H_{23}O_{11}N$

Tabela 2.13- Fórmula química dos substratos do ensaio sem biomassa.

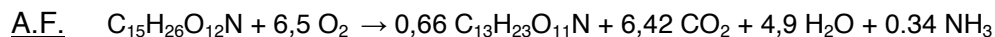
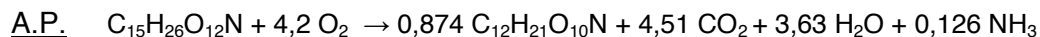
	Fórmula Química
Resíduo inicial	$C_{15}H_{27}O_{13}N$
Composto 1 (arejamento passivo)	$C_{12}H_{22}O_{10}N$
Composto 2 (arejamento forçado)	$C_{11}H_{20}O_{10}N$

Após estimar a fórmula química inicial e as fórmulas químicas finais, e sabendo que a reacção de compostagem se dá na presença de oxigénio e liberta dióxido de carbono, vapor de água e amoníaco, escreveram-se as equações químicas do processo para os dois compostores de cada ensaio realizado. Para o acerto da estequiometria das equações é necessário afectar o produto – composto – do rendimento molar do processo, dado pela equação 2.6.

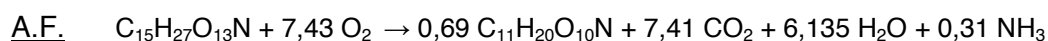
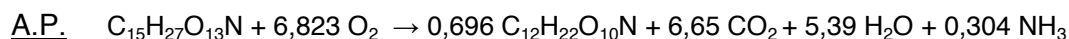
$$\varepsilon = (1 - X_{sv}) \frac{M_{\text{resíduo}}}{M_{\text{composto}}} \left[\frac{mol_{\text{composto}}}{mol_{\text{resíduo}}} \right] \quad \text{Eq – 2.6}$$



Assim, para o ensaio com biomassa, vem:



Para o ensaio sem biomassa:



A partir das equações químicas obtidas é possível determinar o coeficiente médio de consumo de O_2 por massa de sólidos voláteis iniciais (Y'_{O_2}) (Equação 2.7) e por massa de sólidos voláteis degradados (Y_{O_2}) (Equação 2.8), apresentados na Tabela 2.14, juntamente com a percentagem de biodegradabilidade do processo B (Equação 2.9).

$$Y'_{O_2} = \frac{Coef \cdot o_2 * Mmolar_{o_2}}{Mmolar_{res_inic}} \left[\frac{g_{O_2}}{gSV_{inicial}} \right] \quad \text{Eq - 2.7}$$

$$Y_{O_2} = \frac{Y'_{O_2}}{X_{SV}} \left[\frac{g_{O_2}}{gSV_{deg}} \right] \quad \text{Eq - 2.8}$$

Com base nos graus de conversão obtidos anteriormente nas Tabelas 2.9 e 2.10, estimou-se a massa de sólidos voláteis em cada momento de amostragem e determinou-se a percentagem de biodegradabilidade (B) do material com base no seu teor em lenhina, segundo a Equação 2.9 proposta por Dimitris, em que x_i representa a fracção de lenhina nos sólidos (Dimitris, Komilis & Ham, 2003).

$$B = 0,85(\pm 0,084) - 0,01(\pm 0,0027)x_i \quad \text{Eq - 2.9}$$



Tabela 2.14- Coeficientes estequiométricos de consumo de oxigénio a partir dos componentes orgânicos e percentagem de biodegradabilidade do material.

		$Y'_{O_2} (g_{O_2} \cdot g_{SV}^{-1} \text{ inic})$	$Y_{O_2} (g_{O_2} \cdot g_{SV}^{-1} \text{ deg})$	Biodegradabilidade
Ensaio com biomassa	A.P	0,326	1,161	0,675
	A.F	0,505	1,234	0,675
Ensaio sem biomassa	A.P	0,509	1,136	0,652
	A.F	0,554	1,167	0,652

Os valores dos coeficientes estequiométricos obtidos encontram-se muito próximos, podemos no entanto verificar que este valor é sempre superior para o compostor com arejamento forçado, logo podemos deduzir que existe um maior consumo de O_2 neste caso.

2.6.4 Cinética do processo

A cinética da reacção de compostagem, expressa pela variação de sólidos voláteis ao longo do tempo, pode ser aproximada a uma cinética de *quasi* primeira ordem se decorrer sobre condições controladas de humidade, arejamento e temperatura (Themelis, 2002).

Considerando que cada estágio de decomposição ocorrido ao longo do processo pode ser modelado como um CSTR, num processo que requer 60 a 180 dias (Haug, 1993), em cada estágio de decomposição de matéria orgânica, esta é determinada com base no balanço mássico, em estado estacionário, conforme a Equação 2.10:

$$0 = SVB_0 - SVB_t - k_d (SVB_t) TR \quad \text{Eq - 2.10}$$

É possível, deste modo, estimar a massa de sólidos voláteis biodegradáveis presentes num determinado instante, através da Equação 2.11.

$$SVB_t = \frac{SVB_0}{1 + k_d TR} \quad \text{Eq - 2.11}$$



Em que k_d é a constante de velocidade de primeira ordem de decomposição de sólidos voláteis, SVB_0 a massa de sólidos voláteis biodegradáveis no início do processo, SVB_t , a massa de sólidos voláteis biodegradáveis no instante t e TR o tempo de processamento entre o início e o instante t .

Segundo Schulze (1961), a velocidade de consumo de oxigénio, $-r_{O_2}$, pode ser obtida através de uma expressão empírica (Equação 2.12), que traduz a cinética de ordem zero relativamente à velocidade de consumo de O_2 .

$$-r_{O_2} = 0,11(1,066)^T \quad [g_{O_2}.kg_{SV}^{-1}.h^{-1}] \quad \text{Eq - 2.12}$$

É comum assumir uma cinética de 1ª ordem para a reacção de compostagem, pois esta descreve numerosos processos envolvendo oxidações biológicas. Então, a constante de velocidade de primeira ordem de decomposição de sólidos voláteis, k_d , pode obter-se por uma expressão formalmente idêntica à da velocidade de consumo de oxigénio (Haug, 1993).

Com base nos coeficientes das equações químicas apresentadas em 2.6.3, que permitiram obter o coeficiente de consumo de oxigénio por degradação de massa de sólidos voláteis, foi possível determinar as equações para as constantes de velocidade de primeira ordem de decomposição de sólidos voláteis, k_d (Tabela 2.15) através da Equação 2.13.

$$k_d = (0,11 \times (\frac{1}{Y_{O_2} * 10^3})) (1,066)^{T-20} \times 3,6 \quad [h^{-1}] \quad \text{Eq - 2.13}$$

Tabela 2.15 - Constantes de velocidade de primeira ordem de decomposição de sólidos voláteis.

		$Y_{O_2} (g_{O_2}.g_{SV}^{-1}.deg)$	k_d
Ensaio com biomassa	A.P	1,161	$k_d = (9,5.10^{-5}) * (1,066)^{T-20} * 3,6$
	A.F	1,234	$k_d = (8,9.10^{-5}) * (1,066)^{T-20} * 3,6$
Ensaio sem biomassa	A.P	1,136	$k_d = (9,7.10^{-5}) * (1,066)^{T-20} * 3,6$
	A.F	1,167	$k_d = (9,4.10^{-5}) * (1,066)^{T-20} * 3,6$



Deste modo, podemos aceitar a Equação 2.14 como capaz de descrever a velocidade de degradação dos sólidos voláteis biodegradáveis ao longo do processo.

$$-r_{SV} = k_d \times SVB_t \quad [kg_{SV} \cdot h^{-1}] \quad \text{Eq - 2.14}$$

A representação simultânea da massa de sólidos voláteis biodegradáveis presentes, obtida com base nas determinações experimentais e pela Equação 2.11 relativa ao balanço mássico aplicado a estágios de uma hora (Figuras 2.38 a 2.41), não apresenta um bom ajuste entre as duas, principalmente nos compostores com arejamento passivo (Figuras 2.38 e 2.40). Foi, portanto, necessário ajustar os valores de k_d , como podemos ver pela Tabela 2.16.

Tabela 2.16 - Constantes de velocidade de primeira ordem de decomposição de sólidos voláteis (valores ajustados).

kd		
Ensaio com biomassa	A.P	$kd = (3,0 \cdot 10^{-5}) \cdot (1,066)^{1-20} \cdot 3,6$
	A.F	$kd = (6,0 \cdot 10^{-5}) \cdot (1,066)^{1-20} \cdot 3,6$
Ensaio sem biomassa	A.P	$kd = (5,0 \cdot 10^{-5}) \cdot (1,066)^{1-20} \cdot 3,6$
	A.F	$kd = (5,5 \cdot 10^{-5}) \cdot (1,066)^{1-20} \cdot 3,6$

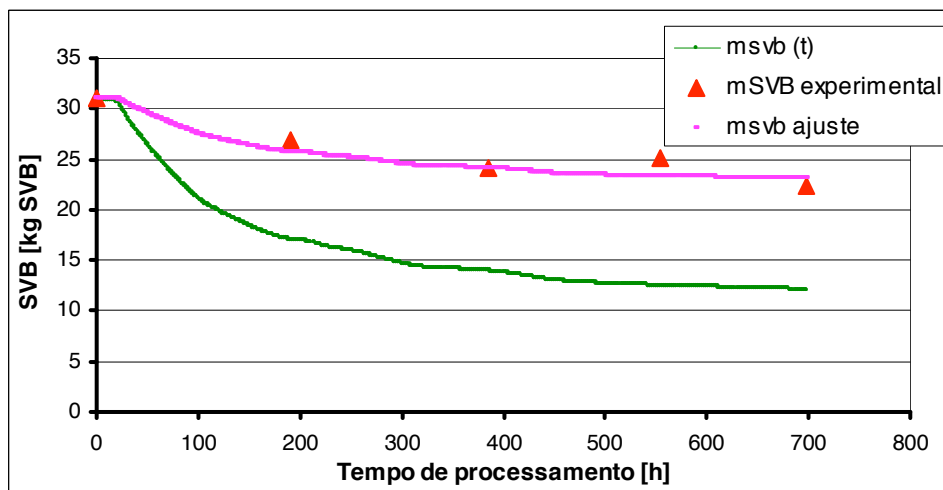


Figura 2.38 - Massa de sólidos voláteis biodegradáveis presentes ao longo do tempo no compostor com arejamento passivo, do ensaio com biomassa.

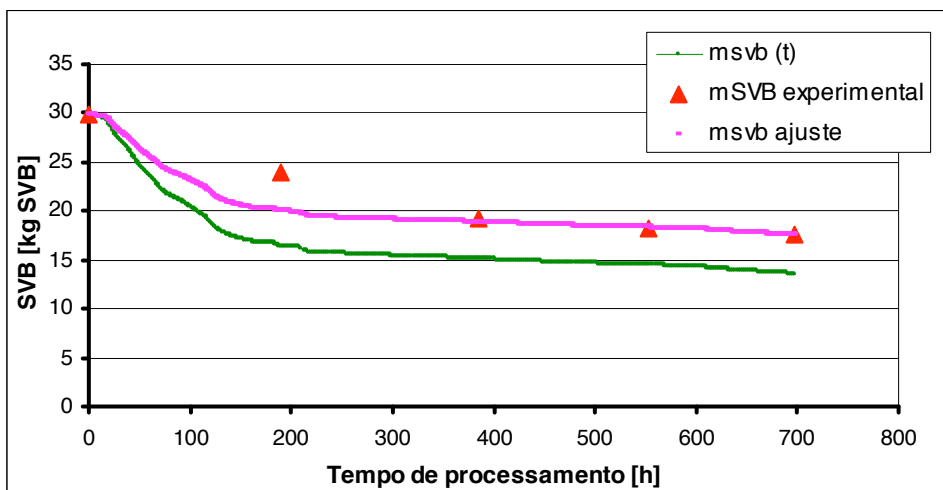


Figura 2.39 - Massa de sólidos voláteis biodegradáveis presentes ao longo do tempo no compostor com arejamento forçado, para o ensaio com biomassa.

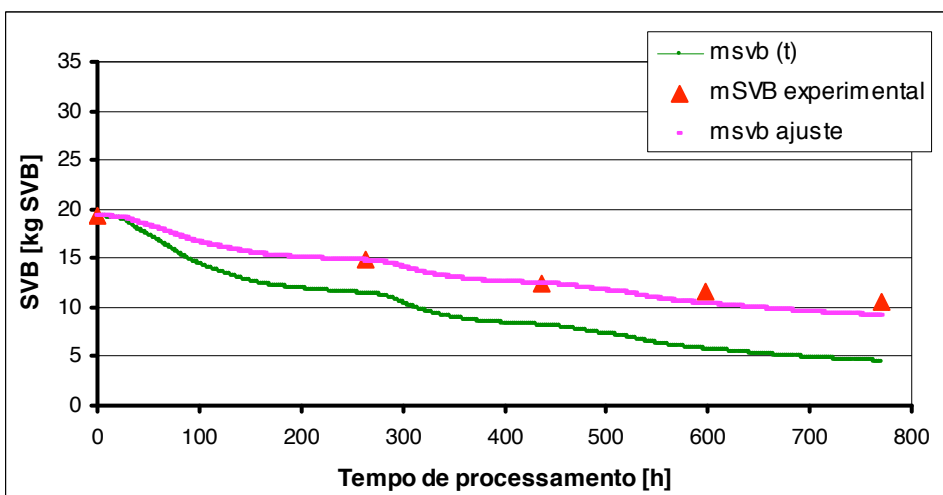


Figura 2.40 - Massa de sólidos voláteis biodegradáveis presentes ao longo do tempo no compostor com arejamento passivo, para o ensaio sem biomassa.

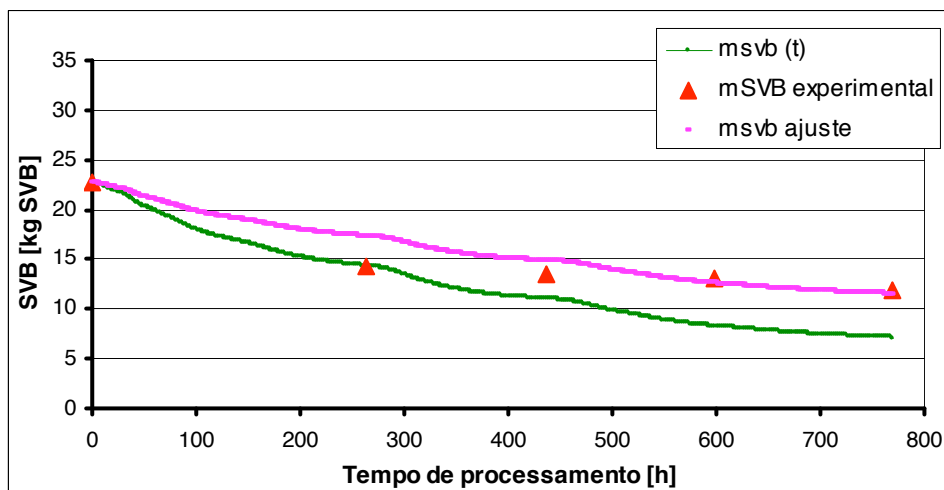


Figura 2.41 - Massa de sólidos voláteis biodegradáveis presentes ao longo do tempo no compostor com arejamento forçado, para o ensaio sem biomassa.

Sabendo a massa de sólidos voláteis que se degrada entre os instantes t e $t-1$, é possível estimar a quantidade de oxigénio estequiometricamente consumido em cada intervalo de tempo.

Assim, o consumo horário de O_2 ao longo do processo é calculado pela Equação 2.14.

$$Consumo_{O_2} = \frac{(SVB_t - SVB_{t-1})Y_{O_2}}{\Delta t} \quad [g_{O_2}.h^{-1}] \quad \text{Eq - 2.14}$$

Com o consumo de O_2 é possível determinar, através da Equação 2.15, o caudal de ar estequiométrico em condições PTN.

$$Q_{est} = \frac{Consumo_{O_2}}{32 \times 0,21} \times 22,4 \quad [m^3 PTN.h^{-1}] \quad \text{Eq - 2.15}$$

Contudo, o arejamento estequiométrico não será suficiente para remover a humidade do resíduo em excesso e promover o arrefecimento do material, quando necessário. Nesse sentido, estimou-se também o caudal de arejamento que removeria a água gerada estequiometricamente na reacção de decomposição, partindo do pressuposto que o ar, após atravessar o material, abandona o sistema saturado à temperatura do processo.



O coeficiente estequiométrico de geração de água (Y_{H_2O}) é dado pela estequiometria das equações químicas (Equação 2.16).

$$Y_{H_2O} = \frac{Ceof_{H_2O} \times Mmolar_{H_2O}}{(Mmolar_{res.inicial})X_{SV}} \left[\frac{g_{H_2O}}{g_{SV_{deg}}} \right] \quad \text{Eq - 2.16}$$

Assim, a massa de água gerada por unidade de tempo ao longo do processo é dada pela Equação 2.17.

$$Geração_{H_2O} = \frac{(SVB_t - SVB_{t-1})Y_{H_2O}}{\Delta t} \quad [g_{H_2O}] \quad \text{Eq - 2.17}$$

O caudal de ar que contempla a remoção da água gerada será dado pela Equação 2.18.

$$Q_{rem} = \frac{Geração_{H_2O}}{W_{VA}} \times 22,4 \quad [m^3 PTN.h^{-1}] \quad \text{Eq - 2.18}$$

Sendo W_{VA} a razão de saturação do vapor de água no ar seco, à temperatura experimental, e cujo valor pode ser obtido pela Equação 2.19.

$$W_{VA} = \frac{P_{v,sat}}{P} \times 0,622 \quad [kg_{H_2O}.kg_{ar}^{-1}] \quad \text{Eq - 2.19}$$

$$P_{v,sat} = 10^{\left(\frac{a}{T+b}\right)} \quad [mmHg] \quad \text{Eq - 2.20}$$

Em que a, b são constantes para a água (a=-2238), (b=8,896) e $P_{v,sat}$ é a pressão de vapor de saturação da água em mmHg (Haug, 1993).



Tabela 2.17 - Coeficiente estequiométrico de geração de água.

	Ensaio com biomassa		Ensaio sem biomassa	
	A.P	A.F	A.P	A.F
$Y_{H_2O} [kg H_2O.kg_{SV}^{-1}]$	0,565	0,523	0,505	0,542

Analisando as Figuras 2.42 a 2.45 relativamente aos caudais de ar, observa-se que, ao proceder ao arejamento forçado de forma a satisfazer a remoção da água gerada, simultaneamente se satisfaz a necessidade estequiométrica de arejamento. A taxa de arejamento a fornecer foi determinada por massa seca inicial, de forma a uma aplicação mais generalizada e possibilidade de comparação com dados da bibliografia (Favoino, 2007). Esta apresenta-se por patamares, de acordo com as necessidades temporais (Tabela 2.18). Comparando estes valores com a taxa de arejamento praticada na experiência, entre 8 a $9 dm^3.h^{-1}.kg^{-1}$, verifica-se que o arejamento forçado foi superior às necessidades.

Tabela 2.18 – Caudal de ar de arejamento.

Caudal ar ($m^3 PTN.kg_{massa\ seca}^{-1}.h^{-1}.10^{-3}$)	Ensaio com biomassa		Ensaio sem biomassa	
	A.P	A.F	A.P	A-F
[0-200h]	2,05	1,83	1,10	1,31
[200-600h]	1,32	0,91	0,94	1,15
[600h-1200h]	1,02	0,91	0,63	0,82

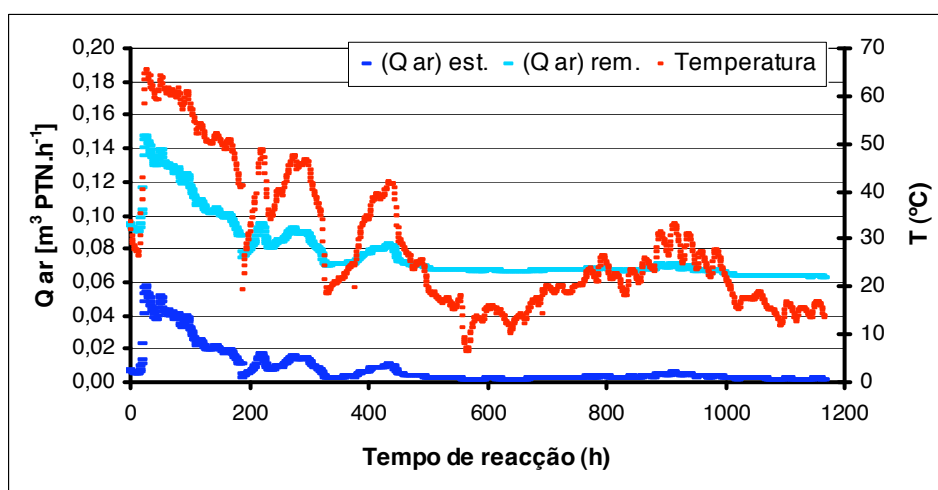


Figura 2.42 - Representação do caudal de ar de arejamento estequiométrico e de remoção de água gerada biologicamente para o compostor com arejamento passivo, do ensaio com biomassa.

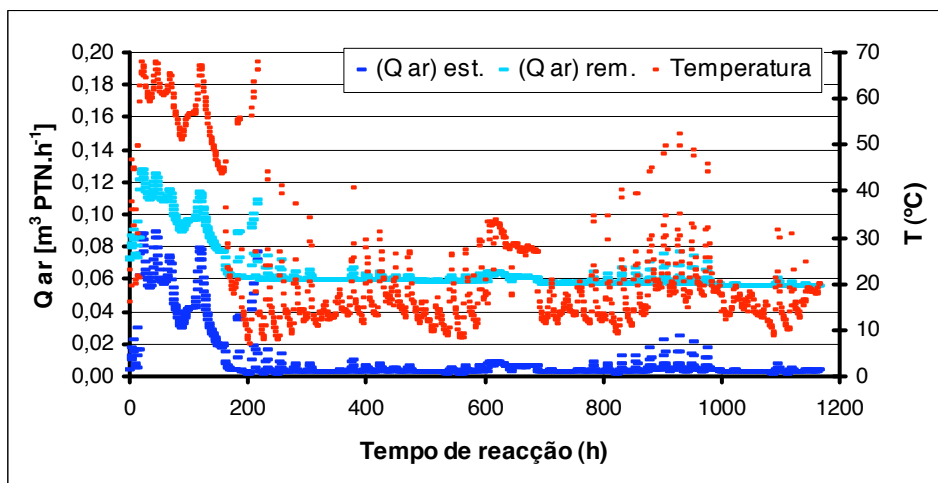


Figura 2.43 - Representação do caudal de ar de arejamento estequiométrico e de remoção de água gerada biologicamente para o compostor com arejamento forçado, do ensaio com biomassa.

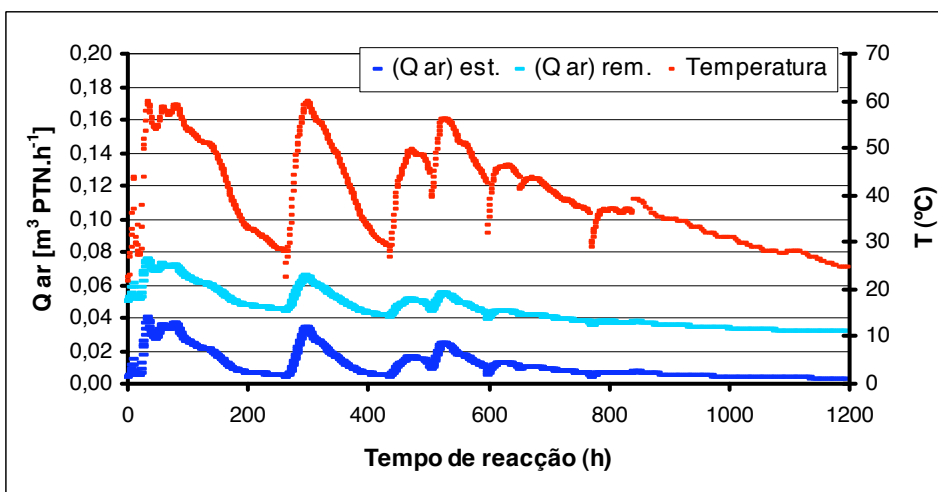


Figura 2.44 - Representação do caudal de ar de arejamento estequiométrico e de remoção de água gerada biologicamente para o compostor com arejamento passivo, do ensaio sem biomassa.

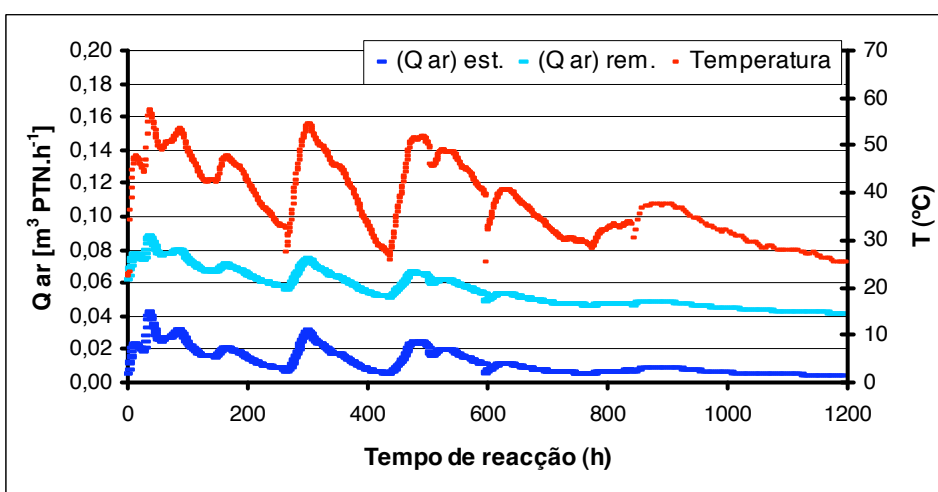


Figura 2.45 - Representação do caudal de ar de arejamento estequiométrico e de remoção de água gerada biologicamente para o compostor com arejamento forçado, do ensaio sem biomassa.



3 AVALIAÇÃO ECONÓMICA DA INSTALAÇÃO DE UMA UNIDADE DE COMPOSTAGEM

Hoje em dia, produtores e investigadores têm vindo a explorar várias formas para manter a sustentabilidade ambiental, enquanto valorizam e melhoram a questão do transporte de adubos, para equilibrar os custos de produção. As empresas produtoras de adubo têm que ter em conta a origem do resíduo, o transporte, armazenamento, o manuseamento, tratamento, distribuição e utilização do mesmo. O uso do composto orgânico na agricultura tem sido uma das principais opções para a solução do problema dos dejectos de animais. A viabilidade da sua reutilização na agricultura é uma opção extremamente interessante, apresentando inúmeras vantagens do ponto de vista ambiental e económico sobre as demais opções (url 1).

A compostagem é um método eficaz de valorização, podendo ser efectuada numa central ou em compostores domésticos, que permite converter os resíduos num fertilizante orgânico. Muitos produtos que podem ser utilizados como adubo orgânico são produzidos nas próprias unidades de produção, como os excrementos, camas de aviário, palhas, restos vegetais e compostos (Ricci et al., 2006). Este processo é muito importante, principalmente no caso de Portugal, em que a maioria dos solos agrícolas é muito pobre em matéria orgânica (Romeiro & Ferreira, 2004).

O tamanho e complexidade duma instalação de tratamento biológico dependem portanto da natureza dos resíduos a tratar, ou, em última análise, da sua proveniência. Neste aspecto interessa aqui distinguir essencialmente dois tipos: RSU (Resíduos Sólidos Urbanos) e os bioresíduos (biowaste). No primeiro caso, o material a compostar contém aquilo a que se chama os componentes húmidos e os componentes secos; os componentes húmidos incluem os restos de alimentação e são putrescíveis (biodegradáveis); componentes secos não são biodegradáveis (com excepção do papel), e são geralmente separáveis para reciclagem: plásticos, metais, vidros, têxteis. Os bioresíduos são constituídos essencialmente por componentes húmidos e de natureza orgânica putrescível, incluindo: resíduos de alimentação (fracção orgânica dos RSU), resíduos de jardinagem, excrementos, lamas de ETAR, etc. (Matos & Pereira, 2004).



A crescente procura por produtos orgânicos está fortemente relacionada com o aumento da exigência dos consumidores relativamente à qualidade dos alimentos e com os impactos da agricultura sobre o meio ambiente. Verifica-se, portanto, a importância social deste tipo de agricultura, que possui também como privilégio ser ambientalmente correcta e economicamente viável (Castro, 2005).

Este estudo pretende avaliar uma possível instalação de uma Unidade de Compostagem na Coelheira em estudo, e tem como objectivo principal mostrar a eventual viabilidade técnica e económica de tratar e valorizar os resíduos da Coelheira, através de uma tecnologia de compostagem de baixos custos de investimento. Esta proposta justifica-se pela inexistência de estudos para este caso concreto e porque, segundo os dados da Associação Industrial do Distrito de Aveiro, 29,3% da área é agrícola, 38,6% é urbana, 20,7% é florestal e, de área destinada a outros usos são 11,4% (url 16). Dentro deste contexto, e considerando as particularidades dos excrementos de coelho e do local, avaliar-se-ão as tecnologias necessárias para a sustentabilidade do sistema.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PROPRIEDADE

A unidade agro-industrial em estudo situa-se na Zona Industrial da Mota, na Freguesia da Gafanha da Encarnação, do Concelho de Ílhavo, no Distrito de Aveiro. A temperatura média anual da cidade de Aveiro ronda os 15°C. Os períodos mais quentes desta cidade do litoral beirão ocorrem nos meses de Junho, Julho e Agosto. Nestes meses as temperaturas disparam, ultrapassando, por vezes, os 30°C. Já o frio envolve a cidade em Dezembro, Janeiro e Fevereiro, mas, mesmo assim, a temperatura média não é baixa rondando os 10°C. Por estes valores é fácil perceber que se trata de um local com um clima ameno, onde as temperaturas não sofrem grandes oscilações ao longo do ano. No que diz respeito às chuvas, elas ocorrem em maior intensidade em Janeiro (135 mm), Novembro (130 mm) e Dezembro (125 mm), ocorrendo os valores mínimos em Julho (12 mm) e Agosto (16 mm). O valor médio anual de precipitação é da ordem dos 900 mm (url 15).



3.2 MATERIAL E MÉTODOS

Inicialmente contabilizou-se o resíduo produzido pelos coelhos em cada zona da coelheira (engorda, machos e maternidade) e em seguida, fez-se um estudo de mercado sobre os vários custos possíveis para a implementação de um sistema de compostagem (url 40 a 49), tais como: o preço e área do terreno necessário para implementação, os vários equipamentos, mão-de-obra, transporte, electricidade, água, etc.

O sistema de funcionamento definido para a Unidade de Compostagem inclui as seguintes operações: (1) recolha dos resíduos; (2) construção e monitorização das pilhas de compostagem em fase activa e de maturação; (3) afinação (crivagem) do composto e, (4) ensacamento/armazenamento. Em termos de meios humanos, equacionou-se a necessidade de um operador para a construção das pilhas e operação do sistema.

O Decreto-Lei nº 178/2006 de 5 de Setembro estabelece que as operações de eliminação de resíduos não perigosos, quando efectuadas pelo seu produtor e no próprio local de produção, bem como as operações de valorização de resíduos não perigosos, estão dispensadas de licenciamento sempre que dos planos específicos de gestão de resíduos ou de portaria conjunta aprovada pelos membros do Governo responsáveis pela área do ambiente e pela área geradora do respectivo tipo de resíduos, resulte a adopção de normas específicas para cada tipo de operação e a fixação dos tipos e das quantidades de resíduos a eliminar ou valorizar. Logo, este é menos um factor a ter em conta, pois o resíduo em causa não é perigoso. No entanto é sempre necessário obter uma licença da Câmara Municipal para a construção do pavilhão de compostagem.

3.2.1 Capacidade de Instalação

O resíduo produzido pelos coelhos foi contabilizado por amostragem, obtendo-se deste modo a quantidade prevista de dejectos produzida por dia, sabendo que existem três fileiras, que são: a engorda, os machos e a maternidade (Tabela 3.1).

Tabela 3.1 – Quantidade de dejectos produzidos por dia e afluentes à instalação de compostagem.

	Massa dejectos (kg/fileira/dia)	Massa dejectos (ton/fileira/semana)	Massa dejectos (ton/fileira/ano)
Engorda	68,98	0,48	25,18
Machos	19,97	0,14	7,29
Maternidade	136,46	0,96	49,81
Total	225,41	1,58	82,27



3.2.2 Conceção técnica. Descrição

Na concepção da instalação de compostagem, há que considerar as instalações e áreas necessárias ao desenvolvimento de cada uma das fases do processo, que consistem num pavilhão principal subdividido em parque de compostagem activa, parque de maturação e ensacamento/ armazenamento.

3.2.3 Infra-estruturas necessárias

Tendo em conta as operações implícitas, a própria tecnologia de compostagem e as condições locais, podemos concluir que a Unidade de Compostagem a instalar, deveria ser dotada de um conjunto de estruturas complementares, as quais se resumem na Tabela 3.2. O sistema adoptado foi um sistema lento de pilhas de resíduos, dispostas numa área coberta e revolvidas periodicamente com a ajuda de equipamento de revolvimento (pá - carregadora), mediante condições controladas. Esta tecnologia de compostagem baseia-se no processo natural de decomposição aeróbia da matéria orgânica, que constitui uma solução viável e de mais fácil implementação no tratamento e valorização dos resíduos, dado que não exige grandes esforços, quer financeiros quer tecnológicos.

Tabela 3.2– Resumo das características da Unidade de Compostagem a instalar (url 6).

Estruturas necessárias	Descrição
Plataforma impermeável, ligeiramente inclinada (cerca de 5%)	A plataforma de compostagem (sobre a qual são construídas as pilhas de compostagem), deve ser pavimentada com betuminoso e apresentar um declive suficiente (cerca de 5 %) para proporcionar a adequada drenagem de pluviais e possíveis escorrências. Determinou-se uma área necessária de 476 m ² , a qual irá permitir a construção de 5 pilhas de compostagem em simultâneo, sendo uma delas utilizada apenas quando o resíduo é revolvido, e a existência dos seguintes espaços: Zona de pilhas de compostagem em estado activo; Zona de pilhas de compostagem em estado de maturação, Zona de circulação do equipamento de revolvimento e Zona de armazenagem do produto final e ensacamento.
Sistema de drenagem	Valas de drenagem que permitam recolher as águas pluviais e possíveis escorrências provenientes das pilhas de compostagem, encaminhando-as para uma caixa colectora fornecendo o destino final adequado.
Sistema de irrigação do composto	Existência de um ponto de água que permita compensar as necessidades de água do sistema, através da irrigação do composto.



3.2.4 Equipamentos necessários

Com o objectivo de assegurar condições que garantam o bom funcionamento do processo, seria necessário adquirir o equipamento mencionado na Tabela 3.3.

Tabela 3.3– Equipamento associado à exploração da Unidade de Compostagem (url 6).

Equipamentos	Funções
Pá - carregadora	Construção das pilhas de resíduos, e revolvimentos das pilhas. Recolha e transporte dos resíduos envolvidos.
Ensacadora	Pesar e ensacar o composto.
Medidor de temperatura	Monitorizar a temperatura do sistema, de modo a controlar o processo de compostagem.
Equipamento para rega	Garantir um ponto de água com alguma pressão, que permita suprimir as necessidades de água do sistema.

3.3 ESTUDO DE DIMENSIONAMENTO

Referido o material necessário para a instalação da Unidade de Compostagem, agora é altura de determinar os espaços necessários a cada uma das fases do processo.

Para o cálculo das áreas relativas ao processo de compostagem propriamente dito, teve-se por base vários parâmetros que influenciam o dimensionamento de forma significativa, entre eles são de destacar:

- ✓ Quantidade de resíduos a tratar (ver Tabela 3.1)
- ✓ Peso específico dos dejectos e do composto (ver Tabela 2.1 e 2.3)

$$\rho_{\text{Dejectos}} = 331 \text{ kg.m}^{-3}$$

$$\rho_{\text{Composto}} = 282 \text{ kg.m}^{-3}$$

- ✓ O equipamento utilizado para o processamento do material
- ✓ A redução de material em compostagem em termos de massa e volume, respectivamente 45% e 17%



- ✓ Tempo médio de permanência do material na compostagem activa (4 semanas) e na maturação (1/2 meses).
- ✓ Quantidade de dejectos por pilha
- ✓ Dimensão das pilhas de compostagem
- ✓ Quantidade de composto produzido
- ✓ Dimensão da pilha no silo de maturação

Os valores utilizados de peso específico e redução de material são baseados nos resultados apresentados do ensaio sem biomassa e com arejamento forçado, por se apresentar com resultados mais favoráveis.

Com base nestes parâmetros é então possível determinar os espaços necessários a cada uma das fases do processo e, consequentemente, determinar a área ocupada pelo pavilhão principal, que se apresenta subdividida em três áreas destinadas a diferentes actividades (Figura 3.1).

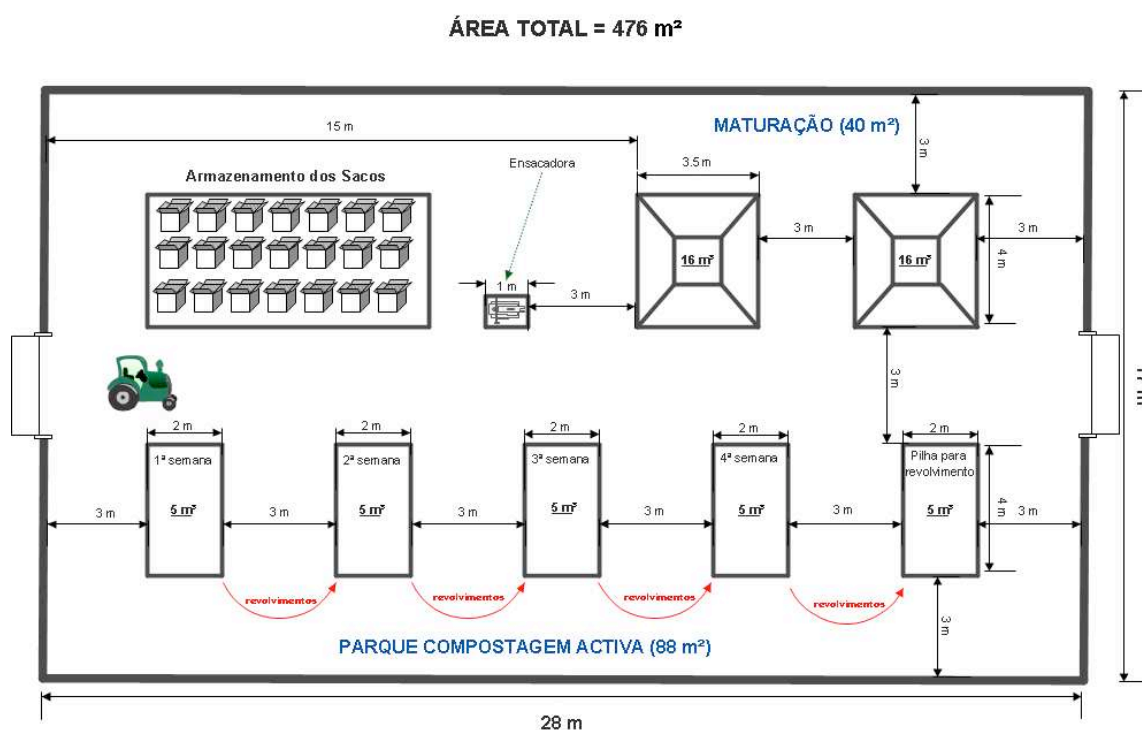


Figura 3.1 – Planta da Unidade de Compostagem.



As unidades funcionais serão instaladas num pavilhão coberto (28x17 m²). Toda a área coberta será pavimentada com betuminoso, e irá apresentar um declive suficiente para proporcionar a adequada drenagem de possíveis lixiviados (5%), constituindo um sistema de impermeabilização eficaz. A Unidade de Compostagem irá possuir também um sistema de drenagem, constituído por uma caleira de drenagem e uma caixa de recepção, que permita recolher possíveis escorrências das pilhas de compostagem activa, encaminhando-as para estações de tratamento.

3.3.1 Parque de compostagem activa

Assumindo que o resíduo seria transferido directamente para o parque de compostagem activa, para o dimensionamento desta área é fundamental ter em conta o número de pilhas necessárias para que o resíduo permaneça cerca de 4 semanas, nesta fase. É portanto, importante de referir alguns parâmetros necessários à sua manutenção, assim como as dimensões típicas das pilhas que se encontram referidas na Tabela 3.4.

Considerando que é formada uma pilha por semana, é então possível determinar a quantidade de dejectos por pilha (Tabela 3.4).

Tabela 3.4 – Massa e volume de resíduos por pilha.

Massa de resíduo		Volume de resíduo
Dejectos (kg/semana)	Dejectos (kg/pilha)	Dejectos (m ³ /pilha)
1578	1578	5

A compostagem é realizada em pilhas horizontais, representadas na Figura 3.1. Os dejectos (0,7 m³/dia) são transportados diariamente num atrelado acoplado à pá carregadora, desde a zona de deposição dos dejectos na Coelheira, até à entrada de cada pilha. Os dejectos de 4 semanas são repartidos por 4 pilhas de compostagem e é necessário uma quinta pilha para os momentos de mistura do resíduo, através do revolvimento regular efectuado pela mesma pá carregadora. Seriam realizados revolvimentos duas vezes por semana, segunda-feira e quinta-feira. O dimensionamento das pilhas de compostagem é apresentado na Tabela 3.5.



Tabela 3.5 - Dimensão e forma das pilhas construídas/ valores recomendados (url 6).

Pilha de compostagem por revolvimento	Altura (m)	Largura (m)	Comprimento (m)	Volume de resíduo a estabilizar em 30 dias (m ³)
Características típicas	1,0-1,5	1,5 a 2,0	Qualquer comprimento	-
Características adoptadas	1,0	2,0	4	20

Por fim verificou-se que era necessário formar quatro pilhas horizontais paralelas com espaçamento entre pilhas de 3 metros, ocupando uma área total de 196m². É importante ainda referir que, na base de cada pilha, serão colocados tubos em PVC perfurados, para possibilitar o arejamento forçado, se necessário.

A monitorização dos parâmetros de controlo do processo é muito importante para garantir as condições necessárias ao funcionamento do sistema, pois permite avaliar o funcionamento do sistema, evitar ou identificar possíveis problemas e eliminá-los. Na fase final da compostagem, a monitorização permite também avaliar o grau de maturação do composto e a qualidade do composto final obtido. De forma a controlar o processo de compostagem, será necessário monitorizar temperatura e humidade, seguindo o plano de amostragem da Tabela 3.6.

Tabela 3.6 - Monitorização dos parâmetros.

Parâmetros de controlo	Frequência de amostragem e procedimento	Equipamento
Temperatura	Leituras de hora a hora. Periodicamente é determinado o perfil de temperatura da pilha, transversal e longitudinal	Medidor de temperatura com <i>data-logger</i> e Sonda de temperatura
Humidade	Diária	Métodos Manuais, como: - Teste da mão: no início, apertando uma amostra de composto na mão, esta não deve escorrer água, mas deve deixar a mão húmida. No final do processo, quando se aperta a massa esta está quase seca. - Teste da vara de madeira: introduz-se uma vara de madeira, permanentemente, na pilha. Ao retirar a vara, se esta estiver: (1) fria e molhada (não ocorre fermentação provavelmente por excesso de humidade), (2) levemente morna e seca (pilha com pouca humidade), (3) quente, húmida e manchada de escuro (condições de compostagem correctas), (4) livre de barro preto e com cheiro a mofo, sendo facilmente introduzida na pilha (composto pronto para utilização).



3.3.2 Parque de maturação

Após os 30 dias de estabilização, os dejectos saem sob a forma de composto não maturado ($\approx 0,6 \text{ m}^3/\text{dia}$) e são transportados pela mesma pá carregadora até à área onde ocorre a maturação (Figura 3.1). Aí são depositados em pilhas (ver Tabela 3.7), durante 1 a 2 meses, consoante a velocidade a que a temperatura das pilhas de maturação se aproxima da temperatura ambiente. Foi calculado que seriam necessárias 2 pilhas, para se ir formando uma, enquanto a pilha maturada aguarda para ser toda ensacada/comercializada.

Tendo em conta a redução de volume do material a compostar, é possível obter a quantidade de composto produzido, como indicado na Tabela 3.7.

Tabela 3.7 – Massa e volume de composto.

Massa de composto	Volume de composto
(kg/semana)	(m^3/pilha)
868	4

Com o volume de composto produzido por mês determinou-se o tamanho dos silos, e consequentemente dimensionou-se uma área de 91m^2 para o parque de maturação, incluindo já o espaço entre as pilhas (3m).

Tabela 3.8 – Dimensão e forma das pilhas na zona de maturação.

Pilha dos silos de maturação	Altura (m)	Largura (m)	Comprimento (m)	Volume de resíduo a estabilizar em 30 dias (m^3)
Características adoptadas	2,0	3,5	4	16

3.3.3 Ensacamento e Armazenamento

Na área correspondente a esta unidade funcional pretende-se preparar o composto para que este possa ser ensacado e posteriormente comercializado. Esta área também será destinada ao armazenamento de equipamento: ensacadora e pá carregadora. Deste modo, o composto maturado será colocado numa ensacadora.



Todo este equipamento irá ocupar uma área de aproximadamente 105m² (identificada na Figura 3.1 com o número 4). Os sacos embalados são colocados também nesta área do edifício. A zona destinada à passagem do equipamento ocupará uma área de 84m².

3.4 ANÁLISE TÉCNICO-ECONÓMICA

A viabilidade económica é um ponto muito sensível e com peso fundamental na definição de todo o processo de dimensionamento e configuração da central de compostagem. Assim, tendo em vista a previsão e quantificação dos custos de compostar e os retornos da venda do produto final, procedeu-se a um estudo económico e de viabilidade.

Este estudo assenta numa perspectiva linear da evolução dos ganhos e custos associados à actividade da Unidade de Compostagem, ou seja, tem-se uma noção média dos custos e ganhos anuais para os 10 anos considerados.

3.4.1 Investimentos para a implementação da Unidade de Compostagem

Os custos de investimento relativos à implementação da Unidade de Compostagem são apresentados na Tabela 3.9, referindo-se o essencial para o projecto, tentando fornecer uma análise financeira completa e rigorosa. Este caso de estudo tem em conta o resíduo produzido anualmente pela Coelheira e a compra do terreno. No Anexo A é possível verificar outras alternativas para este projecto. Os valores apresentados resultam de uma pesquisa de mercado. A parte referente às obras de adaptação inclui a construção de um edifício, um pavimento betuminoso e drenagem de líquidos, a edificação e a vedação.

Na análise de custos, o período de amortização considerado para o equipamento varia desde 8 anos para a ensacadora, 6 anos para a pá carregadora e 5 anos para o medidor de temperatura. Para a edificação, o período de amortização é de 20 anos. O terreno não é amortizável. (url 18).



Tabela 3.9 - Estimativa de Custos de investimento do projecto.

Investimentos	Unidade de Medida	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Descrição e Valor											
Terreno (60euros/m ²) ¹	Milhares €	28,56	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pavimentos e drenagens ²	Milhares €	11,97	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Edificação ²	Milhares €	31,36	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vedação e portões ²	Milhares €	8,70	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pá Carregadora ³	Milhares €	33,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ensacadora ³	Milhares €	5,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Medidor de Temperatura ⁴	Milhares €	0,45	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	Milhares €	119,04	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Amortizações⁵ Anos de Amortização											
Pavimentos e drenagens	20	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
Edificação	20	1,57	1,57	1,57	1,57	1,57	1,57	1,57	1,57	1,57	1,57
Vedação e portões	20	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44
Pá Carregadora	6	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50	0	0	0	0
Ensacadora	8	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0	0
Medidor de Temperatura	5	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0	0	0	0	0
Total		8,82	8,82	8,82	8,82	8,82	8,73	3,23	3,23	2,60	2,60

¹Dados da Câmara Municipal de Ílhavo (url 17)

²Informação fornecida por um Engenheiro Civil

³Dados fornecidos pela empresa Agricortes (url 20)

⁴Dados da Testo-175 (url 21)

⁵Tabelas de amortização (url 18)

3.4.2 Custos de exploração

Em relação aos custos de exploração são considerados os valores referentes à mão-de-obra necessária para o processo, os custos com a electricidade, água, combustível, publicidade, embalagem para ensacar o composto, entre outros. A operação da Unidade de Compostagem é relativamente simples, prevendo-se que um sistema deste género a funcionar a tempo inteiro, exija apenas um operário que efectue a monitorização, proceda aos revolvimentos e rega das pilhas de acordo com os resultados, e seja responsável pela recolha dos resíduos e transporte até à área de compostagem. Para definir os custos relacionados com a mão-de-obra considerou-se ser necessário um operário que trabalhe semanalmente em part-time (350 euros/mês) e outro para compensar as férias., considerando-se, portanto, o cálculo para 15 meses. Os custos operacionais são resumidos na Tabela 3.10.



Tabela 3.10 – Estimativa de Custos com pessoal e operacionais do projecto (url 17).

Pessoal	Unidade Medida	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Operários da central	Pessoas	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Taxa de IRS	%	8,50	8,50	8,50	8,50	8,50	8,50	8,50	8,50	8,50	8,50
Taxa de TSU	%	23,75	23,75	23,75	23,75	23,75	23,75	23,75	23,75	23,75	23,75
Remuneração											
Operários da central	€	350,0	360,5	371,3	382,4	393,4	405,8	418,0	430,5	443,4	456,7
Custo total Anual*	Milhares €	6,94	7,15	7,37	7,59	7,81	8,05	8,29	8,54	8,80	9,06
Custos Operacionais											
Custo do projecto ¹	Milhares €	2,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Licenciamento à câmara ¹	Milhares €	2,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Publicidade	Milhares €	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
Água, Luz	Milhares €	1,80	1,85	1,91	1,97	2,03	2,09	2,15	2,21	2,28	2,35
Combustível	Milhares €	4,00	4,12	4,24	4,37	4,50	4,64	4,78	4,92	5,07	5,22
Embalagem	Milhares €	0,14	0,14	0,15	0,15	0,16	0,16	0,17	0,17	0,18	0,18
Seguros (0,4% do imobilizado)	Milhares €	0,44	0,41	0,37	0,34	0,30	0,26	0,25	0,24	0,23	0,22
Outros/(folga) ²	30% anteriores	3,29	2,14	2,18	2,23	2,28	2,32	2,38	2,44	2,51	2,57
Despesas de Arranque ³	3 meses de custos	9,51	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total Custos Operacionais	Milhares €	23,79	9,26	9,45	9,65	9,86	10,07	10,33	10,59	10,86	11,14

¹Dados da Câmara Municipal de Ílhavo (url 17)

²Inclui entre varias rubricas a manutenção do equipamento e controle analítico da qualidade do produto, assim como o registo do produto

³Podemos aqui incluir o sistema de arejamento

*Este valor já é acrescido dos encargos sociais e seguro

3.4.3 Proveitos

Por fim, é necessário referir que, tanto os custos de investimento como os custos de funcionamento, serão amortizados através da comercialização do composto (Tabela 3.11). Admitindo que o composto ensacado (sacos de 5kg) será vendido por 0,75€/kg (url 29), e sabendo que a sua densidade reduz de 331kg.m⁻³ para 282kg.m⁻³, pode-se verificar que são produzidos aproximadamente 64 ton/ano de composto. Então será facturado no primeiro ano cerca de 33.500€, supondo que se consegue escoar 80% do produto. Nos anos seguintes supõe-se atingir 100% de vendas.



Tabela 3.11 – Estimativa de mercado do projecto.

Fiscalidade/ Macro	Unidade	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Taxa de Inflação**	%	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Taxa de IRC**	%	26,50	26,50	26,50	26,50	26,50	26,50	26,50	26,50	26,50	26,50
Taxa de IVA**	%	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
Taxa de IRS**	%	8,50	8,50	8,50	8,50	8,50	8,50	8,50	8,50	8,50	8,50
Taxa de TSU**	%	23,75	23,75	23,75	23,75	23,75	23,75	23,75	23,75	23,75	23,75
Mercado de Capital											
Euribor ¹	%	4,35	4,40	4,45	4,50	4,50	4,30	4,35	4,50	4,50	4,50
Spread ¹	%	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50
Mercado											
Crescimento ²	%	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28
Total composto	kg	54296	54448	54600	54753	54906	55060	55214	55369	55524	55679
Preço/kg composto	€	0,77	0,79	0,82	0,84	0,87	0,89	0,92	0,95	0,98	1,01
Percentagem de composto vendido	%	80	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Total de composto vendido	kg	43436	54448	54600	54753	54906	55060	55214	55369	55524	55679
Valor total de vendas	Milhares€	33,49	43,24	44,66	46,13	47,65	49,21	50,83	52,50	54,23	56,01

¹Valores fornecidos pelo Banco Finibanco

²Aumento do número de coelhos baseado no aumento da população (url 19)

*Este valor está acrescido da inflação, pois o valor de 0,75€/kg seria no presente ano (2008)

**Orçamento de Estado 2009 (url 39)

3.4.4 Plano de Negócios

Do plano de negócios consta a Demonstração de Resultados e Balanços previsionais para a Unidade de Compostagem num período de 10 anos (Tabela 3.12 e 3.13). A Demonstração de Resultados é um documento contabilístico que ilustra o processo de formação de resultados dentro da empresa, isto é, a sua capacidade para gerar lucros. É uma demonstração financeira complementar ao Balanço, que fundamenta o resultado líquido do exercício, pelo confronto entre proveitos e custos, em diferentes níveis (operacional, financeiro, extraordinário) e num determinado período temporal (url 23).



O empréstimo à Banca é de 75% do investimento inicial, isto é, aproximadamente 107,000 euros, sendo que os restantes 25% têm que ser suportados pela proprietária da Coelheira. Como é visível pelo cálculo do resultado líquido na Tabela 3.12, a partir do quinto ano após a implementação da Unidade (2013), o projecto começa a ter um saldo positivo, ou seja, começa a ser rentável, aumentando o lucro ao longo dos anos, no entanto a rentabilidade do projecto é apenas de 0,7%.

Tabela 3.12 – Demonstração de resultados.

Demonstração de Resultados										
Milhares €	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Venda de Dejectos	33,49	43,24	44,66	46,13	47,65	49,21	50,83	52,50	54,23	56,01
Custos com Pessoal	-6,94	-7,15	-7,37	-7,59	-7,81	-8,05	-8,29	-8,54	-8,80	-9,06
Publicidade	-0,60	-0,60	-0,60	-0,60	-0,60	-0,60	-0,60	-0,60	-0,60	-0,60
Água, Luz	-1,80	-1,85	-1,91	-1,97	-2,03	-2,09	-2,15	-2,21	-2,28	-2,35
Combustível	-4,00	-4,12	-4,24	-4,37	-4,50	-4,64	-4,78	-4,92	-5,07	-5,22
Embalagem	-0,14	-0,14	-0,15	-0,15	-0,16	-0,16	-0,17	-0,17	-0,18	-0,18
Seguros	-0,44	-0,41	-0,37	-0,34	-0,30	-0,26	-0,25	-0,24	-0,23	-0,22
Pagamento Empréstimo Bancário	-10,71	-10,71	-10,71	-10,71	-10,71	-10,71	-10,71	-10,71	-10,71	-10,71
Pagamento de IVA	-6,70	-8,65	-8,93	-9,23	-9,53	-9,84	-10,17	-10,50	-10,85	-11,20
Outros/(folga)	-3,29	-2,14	-2,18	-2,23	-2,28	-2,32	-2,38	-2,44	-2,51	-2,57
Despesas de Arranque	-9,51	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EBITDA¹	-10,65	7,47	8,20	8,95	9,73	10,53	11,34	12,16	13,02	13,90
Amortizações	-8,82	-8,82	-8,82	-8,82	-8,82	-8,73	-3,23	-3,23	-2,60	-2,60
EBIT²	-19,46	-1,35	-0,62	0,14	0,91	1,81	8,11	8,94	10,42	11,30
Juros	-0,73	-0,73	-0,73	-0,73	-0,73	-0,73	-0,73	-0,73	-0,73	-0,73
EBT/(RAI)³	-20,20	-2,08	-1,35	-0,60	0,18	1,07	7,38	8,20	9,68	10,57
Impostos sobre o lucro	5,35	0,55	0,36	0,16	-0,05	-0,28	-1,95	-2,17	-2,57	-2,80
Net Earnings/ Resultado Líquido⁴	-14,85	-1,53	-0,99	-0,44	0,13	0,79	5,42	6,03	7,12	7,77

¹Lucros antes de juros, impostos, depreciação e amortização (url 22)

²Lucros antes de juros, impostos e minoritários (url 22)

³Lucros antes de impostos (url 22)

⁴Diferença entre o total de proveitos e o total de custos, podendo ser positivo ou negativo, sinónimo de lucro ou prejuízo, deduzida do imposto sobre o rendimento (líquido) (url 23)

O Balanço representa uma “fotografia” instantânea do valor patrimonial de uma empresa numa determinada data. Por outras palavras, o Balanço apresenta aquilo que a empresa tem e que pode utilizar na sua actividade, e aquilo que a empresa deve num determinado momento, ou seja, a diferença entre o que a empresa tem e o que deve representa o seu valor. O Balanço avalia a riqueza, isto é, o valor da empresa, mas não demonstra o seu resultado, apenas o apresenta em valor total, sendo a sua demonstração feita na Tabela 3.13. O balanço é composto por duas partes, que se encontram sempre em equilíbrio: Activo e Capital Próprio + Passivo (url 32).



Tabela 3.13 – Balanços Anuais.

Balanços Anuais										
Milhares €	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Imobilizado	110,22	101,40	92,59	83,77	74,95	66,23	63,00	59,78	57,17	54,57
Caixa imediata	33,49	43,24	44,66	46,13	47,65	49,21	50,83	52,50	54,23	56,01
Caixa (fecho do modelo)	-55,90	-65,01	-69,86	-74,19	-78,00	-81,26	-84,01	-87,65	-90,71	-93,34
Activo¹	87,81	79,63	67,39	55,70	44,60	34,18	29,83	24,63	20,69	17,25
Capital Social	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
Reservas	0,00	-14,85	-16,38	-17,37	-17,81	-17,68	-16,89	-11,46	-5,43	1,68
Resultado Líquido	-14,85	-1,53	-0,99	-0,44	0,13	0,79	5,42	6,03	7,12	7,77
Capital Próprio²	-9,85	-11,38	-12,37	-12,81	-12,68	-11,89	-6,46	-0,43	6,68	14,45
Dívida Bancária	103,01	91,56	80,12	68,67	57,23	45,78	34,34	22,89	11,45	0,00
Estado	-5,35	-0,55	-0,36	-0,16	0,05	0,28	1,95	2,17	2,57	2,80
Passivo³	97,66	91,01	79,76	68,51	57,27	46,07	36,29	25,06	14,01	2,80

¹Conjunto dos bens e direitos que a entidade possui (url 18)

²Corresponde ao património líquido da empresa e é composto pelas seguintes rubricas com tradução contabilística: capital social, reservas, prestações suplementares e resultados transitados (url 24)

³Financiamentos alheios dos investimentos, recursos alheios dos empregos, origens alheias das aplicações (óptica económico-financeira) e deveres (dívidas) perante terceiros (óptica jurídica) (url 23)

Podemos concluir que, apesar de em 2013 a Unidade começar a fornecer um resultado líquido positivo (Tabela 3.12), só a partir do ano 2017 a empresa está sem dívidas, pois o valor do activo começa a cobrir todo o passivo, sendo o capital próprio, ou seja, o património da empresa, um valor positivo (Tabela 3.13).



4 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

O processo de compostagem é um exemplo de tratamento de resíduos biodegradáveis já amplamente disseminado em diversos países. Em Portugal, este sistema encontra-se em expansão, em particular devido à necessidade de cumprir as metas impostas pela União Europeia, de desvio de deposição deste tipo de resíduos em aterros sanitários. Trata-se de um método de tratamento de resíduos biodegradáveis, que converte esses resíduos num composto com valor comercial.

Apresentam-se de seguida as conclusões mais relevantes a retirar do estudo desenvolvido, assim como algumas recomendações para trabalhos futuros.

A monitorização de alguns parâmetros permitiu concluir que, com os dejectos de coelho, é possível obter um composto com características adequadas para a sua aplicação no solo. De facto, com base nos testes de vaso realizados, verificou-se que o composto, tanto com biomassa florestal como sem biomassa, apresentava características favoráveis à germinação das plantas, sendo pouco relevante a fracção em volume, 25 ou 50% de composto.

A análise aos nutrientes permitiu também demonstrar que o método de compostagem e o resíduo utilizado, são viáveis para produção de composto orgânico com potencial para utilização, não só como condicionador de solos, como também, para fertilizante orgânico do solo, apresentando capacidades para melhorar as propriedades físicas deste e o pH de solos ácidos.

Em relação à densidade “bulk”, todos os compostos obtidos apresentaram valores satisfatórios, com potencial para melhorar as propriedades físicas do solo, a exemplo da retenção de água, estruturação e porosidade. Seria útil para este caso, realizar um estudo sobre a estrutura das partículas que constituem o resíduo, para uma melhor compreensão do arejamento e da redução de volume que ocorre.

Apesar de verificados e cumpridos alguns dos parâmetros requeridos pelo Rótulo Ecológico Comunitário (REC), para a sua atribuição haverá ainda muito a fazer, quer em termos de análises que a atribuição requer, quer em termos de afinação do processo e de todas as condições inerentes, com vista a obter um composto com qualidade crescente.



A massa de azoto no material diminui ligeiramente em todos os casos, do início para o fim dos ensaios. Embora não tenha sido realizado, seria importante analisar a distribuição do azoto durante o processo, uma vez que as elevadas temperaturas e sobretudo o arejamento forçado, são condições que podem conduzir à perda de amoníaco, arrastando-o na corrente gasosa.

O composto orgânico final apresentou-se como um material inodoro, de fácil armazenamento, estabilizado e com granulometria uniforme.

Comparando o ensaio com biomassa e o ensaio sem biomassa, em termos de degradação da matéria orgânica, observaram-se melhores resultados e num período de tempo inferior, no ensaio sem biomassa.

Relativamente à utilização de biomassa, pode concluir-se que, atendendo às variáveis analisadas, não se justifica o seu uso, para além de representar mais um custo operacional.

Quanto ao arejamento, o sistema passivo, aparentemente, não trouxe limitações, no entanto o arejamento forçado mostrou ser mais eficaz na degradação da matéria orgânica a diferentes níveis: i) acelerando o processo de decomposição, principalmente na presença de biomassa e ii) reduzindo os níveis de patogénicos, E.-Coli, no material final.

De um modo geral, pode-se concluir que o processo de compostagem deste resíduo é pouco sensível ao modo de arejamento, no entanto, o arejamento forçado apresentou alguns benefícios.

Relativamente ao composto obtido, com as condições operatórias praticadas, não é possível a atribuição do rótulo ecológico, pois os compostos têm uma concentração de azoto total ligeiramente superior à permitida, e os critérios de saúde e segurança relativamente à presença de E-Coli e Salmonella não são cumpridos. Esta última limitação pode dever-se ao facto da experiência ter sido realizada num piloto de pequena dimensão, que, atendendo à sua área específica exposta, não terá permitido que todo o material fosse mantido a temperaturas elevadas (50-60°C), durante um período tempo (cerca de uma semana) necessário à sua pasteurização. No entanto, verifica-se a possível aplicação do composto no solo, uma vez que os resultados do teste de vaso nos indicam que o composto não é prejudicial ao crescimento das plantas.



De modo a complementar a avaliação da qualidade do composto, seria necessário realizar testes adicionais, como testes respirométricos e avaliação do grau de humificação.

Seria interessante proceder a ensaios de compostagem de dejectos de coelho em reactor, de modo a verificar as alterações a nível de degradação a diferentes temperaturas, de forma controlada. Avaliar o comportamento de diferentes culturas agrícolas, em diferentes solos, pela aplicação do composto orgânico proveniente de dejectos de coelho, também seria interessante.

Após a análise do projecto sugerido para solucionar a problemática do escoamento dos dejectos produzidos pelos coelhos na Coelheira em estudo, verifica-se que este pode ser considerado como uma solução a viabilizar.

Os custos de investimento (equipamento essencial) deste projecto rondam os 120,000 euros e os custos operacionais e de mão-de-obra os 30,700 euros no primeiro ano. Estes custos poderão ser amortizados com a venda do composto a um valor de mercado, podendo facturar-se cerca de 33,500 euros no primeiro ano, começando a ser lucrativo apenas a partir do quinto ano após a instalação. A rentabilidade deste projecto é somente de 0,7%. O investimento inicial não seria possível sem recorrer a financiamentos, no entanto só foi contabilizado o empréstimo bancário, apesar de existir em Portugal a possibilidade de obter financiamento para este tipo de projectos, no âmbito do III Quadro Comunitário.

O escoamento do composto pode ser ainda um factor crítico e o mais imprevisível, mas se o composto apresentar boas qualidades acabará eventualmente por ganhar aceitação no mercado. Daí a importância de um controlo das condições operacionais, nomeadamente na parte da degradação biológica, sendo necessário efectuar análises regulares ao produto obtido para verificar a sua conformidade e qualidade. Além disso, é imprescindível garantir também a disponibilidade do composto em períodos críticos, de maior procura. A atribuição de um espaço amplo para a armazenagem do produto final pretende dar resposta a esta questão.

Um outro aspecto importante para o escoamento é o desenvolvimento de acções de marketing junto dos potenciais compradores e o estabelecimento de protocolos com entidades públicas para a utilização do composto produzido (por exemplo com a Câmara Municipal, para a manutenção de jardins públicos e outros espaços verdes municipais).



Desta forma, conjugando todas as medidas, as eventuais dificuldades com o escoamento poderão ser evitadas ou minimizadas, conseguindo-se resolver a problemática associada ao destino a dar aos dejectos produzidos na Coelheira em estudo, e, simultaneamente, obter um produto, o composto, com elevado valor agronómico.

No anexo A são referidas outras soluções para a implementação de uma Unidade de Compostagem.

A utilização dos dejectos de coelho tal e qual, isto é, sem serem sujeitos ao processo de compostagem, embora não apresente resultados tão satisfatórios, não implica problemas de fitotoxicidade, podendo ter aplicação como correctivo de solos. Este facto permite ponderar a hipótese de comercializar os dejectos tal e qual a granel (apesar de não ser considerado composto) pois seria inexequível a sua comercialização ensacado, devido às condições anaeróbias a que seria sujeito o resíduo.

Este projecto tem grandes possibilidades de ser adaptado a outras empresas de cunicultura, devido à sua simplicidade de obter bons resultados.



5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [url 1] [http://www1.agric.gov.ab.ca/\\$department/deptdocs.nsf/all/agdex8875](http://www1.agric.gov.ab.ca/$department/deptdocs.nsf/all/agdex8875) (Consultado em Setembro de 2007)
- [url 15] <http://www.regiaocentro.net/lugares/aveiro/clima.html> (Consultado em Julho de 2008)
- [url 16] <http://www.aida.pt/> (Consultado em Julho de 2008)
- [url 17] <http://www.cm-ilhavo.pt/> (Consultado em Julho de 2008)
- [url 18] <http://www.gesbanha.pt/> (Consultado em Novembro de 2008)
- [url 19] <http://www.ine.pt/> (Consultado em Outubro de 2008)
- [url 2] <http://www.allaboutmushrooms.com/mushrooms.htm> (Consultado em Fevereiro de 2008)
- [url 20] <http://www.agricortes.com/> (Consultado em Outubro de 2008)
- [url 21] <http://www.loja.tetraqual.pt/index.php/Manufacturer/Temperaturas/Testo-175-Temperatura/Detailed-product-flyer.html> (Consultado em Outubro de 2008)
- [url 22] <http://www.thinkfn.com/wikibolsa/EBITDA> (Consultado em Outubro de 2008)
- [url 23] <http://www.coface.pt/produtos/conteudo.asp?idMOPE=glossario> (Consultado em Outubro de 2008)
- [url 25] <http://www.bolsadecontas.pt/faq/faq.php?id=34#86> (Consultado em Outubro de 2008)
- [url 26] <http://economiafinancas.com/2008/11/previsao-para-a-taxa-de-inflacao-em-2009/> (Consultado em Outubro de 2008)
- [url 27] <http://economia.publico.clix.pt/noticia.aspx?id=1323724&idCanal=57> (Consultado em Outubro de 2008)
- [url 28] <http://economiafinancas.com/wp-content/uploads/2008/01/irs2008.pdf> (Consultado em Outubro de 2008)
- [url 29] <http://www.jumbo.pt/Frontoffice/ContentPages/ExpressCatalog.aspx> (Consultado em Outubro de 2008)
- [url 3] <http://www.plantea.com/manure.htm> (Consultado em Setembro de 2007)
- [url 30] <http://www2.seg-social.pt/> (Consultado em Outubro de 2008)
- [url 31] www.iosereal.com (Consultado em Outubro de 2008)
- [url 32] http://www.notapositiva.com/trab_professores/textos_apoio/contabilidade/02balacopatrimonial.htm (Consultado em Outubro de 2008)
- [url 33] <http://www.komptech.com/es/productos/tecnologia/compostaje-descomposicion.htm> (Consultado em Outubro de 2008)
- [url 34] <http://www.manutan.pt/> (Consultado em Outubro de 2008)



- [url 35] <http://www.google.com/>
- [url 36] <http://www.directorio.iol.pt/cunicultura--3-257-00000-0.html> (Consultado em Outubro de 2008)
- [url 37] <http://www.google.pt/maps> (Consultado em Outubro de 2008)
- [url 38] <http://www.medstudents.com.br/imuno/asperg/patol.htm>
- [url 40] <http://barloworld.stet.pt/> (Consultado em Outubro de 2008)
- [url 41] <http://www.abolsamia.pt/products.php> (Consultado em Outubro de 2008)
- [url 42] <http://www.agriculturaemaguinas.com/> (Consultado em Outubro de 2008)
- [url 43] <http://www.bogatecnica.com/enlaces.html> (Consultado em Outubro de 2008)
- [url 44] <http://www.enginox.com/> (Consultado em Outubro de 2008)
- [url 45] <http://www.equipmentlocator.com/> (Consultado em Outubro de 2008)
- [url 46] <http://www.euripesa.pt/main.html> (Consultado em Outubro de 2008)
- [url 47] http://www.europa-camioes.com/maquinas_de_o.p./pa_carregadora-volvo-1011434F3.html (Consultado em Outubro de 2008)
- [url 48] <http://www.novarocha.com/> (Consultado em Outubro de 2008)
- [url 49] <http://www.peixotoepeixoto.pt/product.php?productid=162&cat=66&page=1> (Consultado em Outubro de 2008)
- Abecassis, F., Cabral, N. (1982), *Análise Económica e Financeira de Projectos*, 2ª Edição. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa.
- Alcântara, F., Cunha, M.A., & Almeida, M.A. (1996), *Microbiologia – Práticas Laboratoriais*. Departamento de Biologia, Universidade de Aveiro.
- ANACOM (2004), Autoridade Nacional de Comunicações. Consultado em Outubro de 2008: [url 24] http://www.ctoc.pt/downloads/files/1213978435_32e33_contabilidade.pdf
- Avnimelech, Y. (1986), Organic residues in modern agriculture. In *The role of organic matter in modern agriculture*, pp.1-9. Y. Chen & Y. Avnimelech eds. Martinus Nijhoff, Netherlands.
- Beltrame, K.G. (2008), *Compostagem de Resíduos Industriais, Comerciais e Agrícolas*. 11ª Audiência de Sustentabilidade, São José do Campos/SP.
- Bertoldi, M., Sequi, P., Lemmes, B., & Papi, T. (1996), *The Science of Composting*. Blackie Academic & Professional, England.
- Bidlingmaier, W. (1985), Quality-testing of waste sewage sludge composts. *Acta Hort.* 172:99-116
- Bidlingmaier, W. (1994), *Methods Book for the Analysis of Compost*. University of Essen.
- Brito, M.J.C. (2008) *Processo de Compostagem de Resíduos Urbanos em Pequena Escala e Potencial de Utilização do Composto como Substrato*. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos. Universidade Tiradentes.
- Campbell, S. (2005), *Deixe apodrecer: Manual de compostagem: A reciclagem natural na*



horta e no jardim.

Campos, A.L.O. (2004), Compostagem de Resíduos Orgânicos de Feiras-Livres e Podas Visando Aplicação em Sistemas de Hortas Comunitárias e Produção de Mudas na Cidade de Boquim-SE. Edital FAPITEC/FUNTEC.

Castanheira, E.G., Fernandes, P., Ferreira, C.M.D. Compostagem de Lamas Mistas: caso de estudo para a ETAR de Coimbra.

Castro, M. M. (2005), Análise Económica e Tecnológica da Produção Orgânica de Propriedades de Agricultura Familiar do Distrito Federal e Entorno. Universidade de Brasília, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária Curso de Agronomia. Projecto Final da disciplina Estágio Supervisionado submetido à Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária como requisito parcial para a obtenção do grau de Engenheiro Agrônomo, 1-36.

Código de Boas Práticas Agrícolas para a protecção da água contra a poluição com nitratos de origem agrícola, (1997). Portal do Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas. Consultado em Setembro de 2007: [url 4] http://www.drapn.min-agricultura.pt/drapn/zona_v/Files_pdf/CodigoBPA.pdf

Conservação do Solo e da Água – Manual Básico de Práticas Agrícolas, (1999). Portal do Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas. Consultado em Setembro de 2007: [url5] http://portal.min-agricultura.pt/portal/page/portal/MADRP/PT/servicos/mediateca/publicacoes/publicacoes/ficheiros/CBP_Agricolas.pdf

Cooperband, L. (2002), The Art and Science of Composting. Center for Integrated Agricultural Systems.

Correia, J. (2005), Compostagem na Agricultura. Voz da Terra, pp.11-18

Decisão da Comissão n.º 2001/688/CE de 28-08-2001, Estabelece os critérios ecológicos para a atribuição de rótulo ecológico aos correctivos de solos e suportes de cultura. Jornal Oficial das Comunidades Europeias, série L, n.º 242, pp. 17-22.

Decisão da Comissão n.º 2007/64/CE de 15-12-2006, Estabelece os critérios ecológicos revistos e respectivos requisitos de avaliação e verificação para a atribuição de rótulo ecológico aos correctivos de solos. Jornal Oficial das Comunidades Europeias, série L, n.º 32, pp. 137-144.

Decreto-Lei n.º 178/2006 de 05-09-2006, Aprova o regime geral da gestão de resíduos. Diário da República, N.º 171, I Série, 5 de Setembro de 2006, pp. 6526- 6545.

Decreto-Lei n.º 239/97, de 09-09-1997, Estabelece as regras a que fica sujeita a gestão de resíduos. Diário da República, N.º 208, I Série A, 19 de Julho de 2006, pp. 4775-4780.

Desenvolvimento, Operação e Avaliação de uma Instalação Piloto de Co-Compostagem. Câmara Municipal de Montemor-o-Novo. Consultado em Julho de 2008: [url 6] <http://www.netresiduos.com/cir/educamb/montemorpilotob.htm>

Despacho Conjunto n.º 15512/2006 de 28 de Junho, Diário da República, N.º 138, II Série, 19 de Julho de 2006, pp. 11 764-11 766.

Dimitris, P., Komilis, Ham, R.K. (2003), The effect of lignin and sugars to the aerobic decomposition of solid wastes. Waste Management 23, Pregamon, pp. 419- 423.



Directiva do Conselho n.º 75/442/CEE de 15-07-1975, Relativa à eliminação de resíduos. Jornal Oficial das Comunidades Europeias, série L, n.º 194, pp. 39-41.

Directiva do Conselho n.º 91/156/CEE de 18-03-1991, Altera a Directiva 75/442/CEE relativa aos resíduos. Jornal Oficial das Comunidades Europeias, série L, n.º 78/32, pp. 32-374.

Duruhoa, C., Piffer, C.R., & Silva, P.R.A. (2008), Root Volume and Dry Matter of Peanut Plants as a Function of Soil Bulk Density and Soil Water Stress. Revista Irriga, Vol. 13, nº 2.

Favoino, E. (2007), Workshop: Optimising the C Cycle: How to implement a consistent strategy for the management of organics. 6^{as} Jornadas Técnicas Internacionais de Resíduos, Viseu.

Federal Compost Quality Assurance Organization (1994), Methods book for the analysis of compost.

Gomes, A.P.D. (2001), Fundamentos da compostagem de resíduos sólidos. Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para obtenção do grau de doutor em Ciências Aplicadas ao Ambiente.

Haug, R.T. (1993), The Practical Handbook of Compost Engineering. Lewis Publishers, EUA.

Herrera A.P.N. (2003), Eficiência produtiva e avaliação nutricional de dietas simplificadas a base de forragens para coelhos em crescimento, Tese de Doutorado. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais.

Kiehl, E.J. (1998), Manual de compostagem – Maturação e qualidade do composto. Piracicaba, Editado pelo autor, . 171p.

Kiehl, J.E. (1985), Fertilizantes orgânicos. São Paulo: Ed. Ceres, 492p.

Lebas, F. (2002), Biologie du Lapin. Consultado em Setembro de 2007: [url 8] <http://www.cuniculture.info/Docs/Biologie/biologie-04.htm#3>

Maia, C.M.F. (1995), Colóquio Agricultura e Ambiente - O Futuro, Coimbra.

Manual de Compostagem da Escola Superior Agrária de Ponte de Lima (2007). Escola Superior Agrária, Instituto Superior de Viana do Castelo. Consultado em Setembro de 2007: [url 9] http://www.ci.esapl.pt/mbrito/compostagem/Tipos_de_composto.htm

Matos, M.A. (2007), Operações de Tratamento de Resíduos. Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro.

Matos, M.A. (2007), Tratamento e Gestão de Resíduos. Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro.

Matos, M.A., Pereira, F.J.M.A. (2004), Tratamento e Gestão de Resíduos Sólidos/V10. Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro.

Neto, J.T.P. (1987), On the treatment of municipal refuse and sewage sludge using aerated static pile composting; a low cost technology approach. Tese de Doutorado apresentado à University of Leeds.

Orçamento de Estado 2009. Consultado em Novembro de 2008: [url 39] <http://www.dgo.pt/oe/2009/Proposta/Relatorio/rel-2009.pdf>



- Pinheiro, C. (2000), Coelho-Bravo. Consultado em Setembro de 2007: [url 10]
<http://www.bragancanet.pt/patrimonio/faunacoelho.htm>
- Portaria nº 209/2004, de 03-03-2004, Aprova a Lista Europeia de Resíduos. Diário da República, Nº 53, I Série B, 3 de Março de 2004, pp. 1188-1206.
- Queda, A.C.F.C. (2005/2006) A Compostagem de Resíduos Orgânicos. Instituto Superior de Agronomia, Departamento de Química Agrícola e Ambiental.
- Regulamento do Conselho n.º 2092/91/CEE de 24-06-1991, Relativo ao modo de produção biológico de produtos agrícolas e à sua indicação nos produtos agrícolas e nos géneros alimentícios. Jornal Oficial das Comunidades Europeias, série L, n.º 198, pp. 1-15.
- Ricci, M.S.F., Caixeta, I.F., Araújo, J.B.S, Almeida, P.S., Pedini, S., Fernandes, M.C., et al. (2006), Cultivo de Café Orgânico – Adubação. Embrapa Agrobiologia, Sistemas de Produção. Consultado em Setembro de 2007: [url11]
<http://www.cnpab.embrapa.br/publicacoes/sistemasdeproducao/cafe/adubacao.htm>
- Romeiro, C., & Ferreira, M. (2004), Projecto e Operação de uma Instalação de Compostagem Municipal. Projecto apresentado à Universidade de Aveiro para obtenção da Licenciatura em Engenharia do Ambiente.
- Santos, J. Q. (1995), Fertilização e Poluição – Reciclagem Agro-florestal de Resíduos Orgânicos. Scarpa Impressores, Portugal.
- Schulze, K. (1962), Continuous Thermophilic Composting. Applied Microbiology, 10 (2), pp. 108-122.
- Sequi, P., Ciavatta C. & Antisari, L. V. (1991), Organic fertilizers and humification in soil. In Humic and soils (Baker R.A. Ed.), pp. 351-367. Lewis Pub., Chelsea, Michigan.
- Silva, A.D., Gramaxo, F., Santos, M.E., Mesquita, A.F., Baldaia, L. (2001), Terra, Universo de Vida-1ª parte. Porto Editora. Portugal.
- Silveira, A. (2000), Valorização dos Resíduos Orgânicos – Compostagem. Consultado em Setembro de 2007: [url 12]
<http://www.naturlink.pt/canais/Artigo.asp?iArtigo=1791&iLingua>
- Siqueira, S.J.L. (2006), Clonagem e Expressão de Celulases em Fungos Filamentosos para Degradação da Celulose. Laboratório de Biologia Molecular, Universidade de Brasília.
- Teixeira, L.B., Oliveira, R.F., & Junior, J.F. (2004), Características Químicas de Composto Orgânico Produzido com Lixo Orgânico, Caroço de Açaí, Capim e serragem. Comunicado Técnico 105, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, PA. Consultado em Setembro de 2007: [url 13]
<http://www.cpatu.embrapa.br/online/comunicado/com.tec.105.pdf>
- Themelis, N. J. (2002), Material and Energy Balances in a Large-Scale Aerobic Bioconversion Cell. Waste Management and Research 20. Columbia University, EUA, pp. 234-242.
- Walker, F., On-Farm Composting of Poultry Litter. P&SS Info #319. Publication of Department of Animal Science, University of Tennessee. Consultado em Setembro de 2007: [url 14]
<http://www.utextension.utk.edu/publications/infosheets/Pss319/PSS319InProgress.htm>

6 ANEXOS

ANEXO A

Caso de Estudo 2 – Aumentar a quantidade de resíduo a compostar, recorrendo a outra Coelheira, sem aumentar a área do pavilhão

Visto a rentabilidade do tratamento de resíduos apenas da coelheira ser baixa (0,7%), e como as pilhas de compostagem activa podem ainda sofrer um aumento em altura, surge a hipótese de aumentar a quantidade de resíduo a compostar, recorrendo a uma Coelheira próxima, de modo a não aumentar demasiado os custos com combustível. Deste modo não será necessário aumentar a área da Unidade de Compostagem. Após uma pesquisa (url 36, url 37) verificou-se que existe uma Coelheira no concelho de Ílhavo, na freguesia da Gafanha do Carmo, situada a 4,4km de distância da Coelheira em estudo, tornando viável esta alternativa. Os custos de investimento relativos à implementação da Unidade de Compostagem são os mesmos do caso apresentado inicialmente, e são considerados os mesmos valores fiscais e da taxa de juro.

Relativamente aos custos de exploração, aumentam os custos com a água e luz, combustível e quantidade de embalagens. Neste caso considerou-se ser necessário um empregado que trabalhe semanalmente em full-time (600 euros/mês) e outro para compensar as férias., considerando-se, portanto, o cálculo para 15 meses. Os custos operacionais são resumidos na Tabela A1.

Tabela A1 - Estimativa de Custos com pessoal e operacionais do projecto.

Pessoal	Unidade Medida	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Operários da central	Pessoas	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Taxa de IRS	%	8,50	8,50	8,50	8,50	8,50	8,50	8,50	8,50	8,50	8,50
Taxa de TSU	%	23,75	23,75	23,75	23,75	23,75	23,75	23,75	23,75	23,75	23,75
Remuneração											
Operários da central	€	600,0	618,0	636,5	655,6	675,3	695,6	716,4	737,9	760,1	782,9
Custo total Anual *	Milhares €	11,90	12,26	12,63	13,01	13,40	13,80	14,21	14,64	15,08	15,53
Custos Operacionais											
Custo do projecto ¹	Milhares €	2,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Licenciamento à câmara ¹	Milhares €	2,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Publicidade	Milhares €	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
Água, Luz	Milhares €	2,00	2,06	2,12	2,19	2,25	2,32	2,39	2,46	2,53	2,61
Combustível	Milhares €	6,70	6,90	7,11	7,32	7,54	7,77	8,00	8,24	8,49	8,74
Embalagem	Milhares €	0,22	0,22	0,23	0,24	0,24	0,25	0,26	0,27	0,28	0,28
Seguros (0,4% do imobilizado)	Milhares €	0,44	0,41	0,37	0,34	0,30	0,26	0,25	0,24	0,23	0,22
Outros/(folga) ²	30% anteriores	4,19	3,06	3,13	3,20	3,28	3,36	3,45	3,54	3,64	3,74
Despesas de Arranque	3 meses de custos	15,44	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total Custos Operacionais	Milhares €	33,58	13,25	13,56	13,88	14,22	14,56	14,95	15,35	15,76	16,19

¹Dados da Câmara Municipal de Ilhavo (url 17)

²Inclui entre varias rubricas a manutenção do equipamento e controle analítico da qualidade do produto, assim como o registo do produto

*Este valor já é acrescido dos encargos sociais e seguro

Neste caso temos uma maior quantidade de composto, aumentando assim o valor total das vendas como podemos ver na Tabela A2.

Tabela A2 - Estimativa de mercado do projecto.

Mercado	Unidade	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Crescimento ¹	%	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28
Total composto	ton	84837	85074	85313	85552	85791	86031	86272	86514	86756	86999
Preço/kg composto	€	0,77	0,79	0,82	0,84	0,87	0,89	0,92	0,95	0,98	1,01
Percentagem de composto vendido	%	80	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Total de composto vendido	ton	67870	85074	85313	85552	85791	86031	86272	86514	86756	86999
Valor total de vendas	Milhares €	52,33	67,56	69,78	72,08	74,45	76,89	79,42	82,04	84,73	87,52

¹Aumento do número de coelhos baseado no aumento da população (url 19)

*Este valor está acrescido da inflação, pois o valor de 0,75€/kg seria no presente ano (2008)

Neste caso, a partir do segundo ano após a implementação da Unidade (2010), o projecto começa a ter um saldo positivo, sendo que esta situação permite obter um lucro mais elevado, aumentando a rentabilidade de 0,7% para 5,4% (Tabela A3).

Tabela A3 - Demonstração de resultados.

Demonstração de Resultados										
Milhares €	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Venda de composto	52,33	67,56	69,78	72,08	74,45	76,89	79,42	82,04	84,73	87,52
Custos com Pessoal	-11,90	-12,26	-12,63	-13,01	-13,40	-13,80	-14,21	-14,64	-15,08	-15,53
Publicidade	-0,60	-0,60	-0,60	-0,60	-0,60	-0,60	-0,60	-0,60	-0,60	-0,60
Água, Luz	-2,00	-2,06	-2,12	-2,19	-2,25	-2,32	-2,39	-2,46	-2,53	-2,61
Combustível	-6,70	-6,90	-7,11	-7,32	-7,54	-7,77	-8,00	-8,24	-8,49	-8,74
Embalagem	-0,22	-0,22	-0,23	-0,24	-0,24	-0,25	-0,26	-0,27	-0,28	-0,28
Seguros	-0,44	-0,41	-0,37	-0,34	-0,30	-0,26	-0,25	-0,24	-0,23	-0,22
Pagamento Empréstimo Bancário	-11,45	-11,45	-11,45	-11,45	-11,45	-11,45	-11,45	-11,45	-11,45	-11,45
Pagamento de IVA	-10,47	-13,51	-13,96	-14,42	-14,89	-15,38	-15,88	-16,41	-16,95	-17,50
Outros/(folga)	-4,19	-3,06	-3,13	-3,20	-3,28	-3,36	-3,45	-3,54	-3,64	-3,74
Despesas de Arranque	-15,44	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EBITDA¹	-11,07	17,09	18,19	19,33	20,50	21,71	22,93	24,20	25,50	26,85
Amortizações	-8,82	-8,82	-8,82	-8,82	-8,82	-8,73	-3,23	-3,23	-2,60	-2,60
EBIT²	-19,89	8,28	9,38	10,51	11,68	12,98	19,70	20,97	22,90	24,25
Juros	-0,78	-0,78	-0,78	-0,78	-0,78	-0,78	-0,78	-0,78	-0,78	-0,78
EBT/(RAI)³	-20,67	7,49	8,59	9,73	10,90	12,20	18,92	20,18	22,11	23,46
Impostos sobre o lucro	5,48	-1,99	-2,28	-2,58	-2,89	-3,23	-5,01	-5,35	-5,86	-6,22
Net Earnings/Resultado Líquido⁴	-15,19	5,51	6,31	7,15	8,01	8,97	13,91	14,84	16,25	17,25

¹Lucros antes de juros, impostos, depreciação e amortização (url 22)

²Lucros antes de juros, impostos e minoritários (url 22)

³Lucros antes de impostos (url 22)

⁴Diferença entre o total de proveitos e o total de custos, podendo ser positivo ou negativo, sinónimo de lucro ou prejuízo, deduzida do imposto sobre o rendimento (líquido) (url 23)

Podemos concluir que em 2011 a Unidade fornece um resultado líquido positivo, e já está sem dívidas, pois o valor do activo começa a cobrir todo o passivo, sendo o capital próprio, ou seja, o património da empresa, um valor positivo (Tabela A4).

Tabela A4 – Balanços Anuais.

Balanços Anuais										
Milhares €	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Imobilizado	110,22	101,40	92,59	83,77	74,95	66,23	63,00	59,78	57,17	54,57
Caixa imediata	52,33	67,56	69,78	72,08	74,45	76,89	79,42	82,04	84,73	87,52
Caixa (fecho do modelo)	-68,14	-73,82	-72,85	-71,11	-68,57	-65,22	-61,06	-57,51	-53,07	-47,88
Activo	94,40	95,15	89,52	84,74	80,83	77,91	81,36	84,30	88,84	94,21
Capital Social	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
Reservas	0,00	-15,19	-9,69	-3,37	3,78	11,79	20,75	34,66	49,49	65,75
Resultado Líquido	-15,19	5,51	6,31	7,15	8,01	8,97	13,91	14,84	16,25	17,25
Capital Próprio ²	-10,19	-4,69	1,63	8,78	16,79	25,75	39,66	54,49	70,75	87,99
Dívida Bancária	110,08	97,84	85,61	73,38	61,15	48,92	36,69	24,46	12,23	0,00
Estado	-5,48	1,99	2,28	2,58	2,89	3,23	5,01	5,35	5,86	6,22
Passivo ³	104,60	99,83	87,89	75,96	64,04	52,15	41,71	29,81	18,09	6,22

¹Conjunto dos bens e direitos que a entidade possui (url 18)

²Corresponde ao património líquido da empresa e é composto pelas seguintes rubricas com tradução contabilística: capital social, reservas, prestações suplementares e resultados transitados (url 24)

³Financiamentos alheios dos investimentos, recursos alheios dos empregos, origens alheias das aplicações (óptica económico-financeira) e deveres (dívidas) perante terceiros (óptica jurídica) (url 23)

Pelos resultados anteriores podemos verificar que, comparando com o caso de estudo inicial, este caso torna-se mais viável, dado que permite obter um maior lucro e num espaço de tempo mais curto.

Caso de Estudo 3 – Aumentar a quantidade de resíduo a compostar, recorrendo a outras Coelheiras do País

Esta hipótese parte do pressuposto que se iria recolher resíduo a outras Coelheiras do País, mais propriamente das zonas da Beira-Litoral e Entre Douro e Minho. Com base em informação do Instituto Nacional de Estatística (INE), existem nessa área cerca de 3700 coelhos para abate, e, neste caso, começaríamos por tratar 8% dos dejectos, alcançando 16% ao fim de 5 anos (Tabela A7). Para tal seria necessário um investimento muito mais elevado, contudo o lucro seria também bastante maior. Na Tabela A5 é apresentada uma estimativa de custos de investimento para este caso ao longo de 5 anos.

Tabela A5 – Estimativa de Custos de investimento do projecto.

Investimentos	Unidade de Medida	2009	2010	2011	2012	2013
Descrição e Valor						
Obras de Adaptação ¹	Milhares €	631,40	0	0	0	0
Pá Carregadora ²	Milhares €	300,00	0	77,25	79,57	0
Ensacadora ²	Milhares €	10,00	0	0	10,3	0
Sonda de Temperatura ³	Milhares €	0,90	0	0	0	0
Volteadora ⁴	Milhares €	59,00	0	0	0	0
Sistema de insuflação de ar ⁵	Milhares €	172,80	0	0	0	0
Tela transportadora (Triagem) ⁶	Milhares €	12,50	0	0	0	0
Diapositivo de mistura ⁶	Milhares €	20,00	0	0	0	0
Tremonha ⁶	Milhares €	20,00	0	0	0	0
Tapete Transportador ⁶	Milhares €	75,00	0	0	0	0
Elevador de alcatruzes ⁶	Milhares €	15,00	0	0	0	0
Telas transportadoras pequenas ⁶	Milhares €	5,00	0	0	0	0
Empilhador ⁷	Milhares €	45,00	0	0	0	0
Carrinha	Milhares €	60,00	0	61,80	0	0
Construção do Site ⁸	Milhares €	5,00	0	0	0	0
Total	Milhares €	1431,60	0,00	139,05	89,87	0,00
Amortizações⁹						
	Anos de Amortização					
Sistema de insuflação de ar	5	34,56	34,56	34,56	34,56	34,56
Tela transportadora (Triagem)	8	1,56	1,56	1,56	1,56	1,56
Diapositivo de mistura	8	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50
Tremonha	8	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50
Tapete Transportador	8	9,38	9,38	9,38	9,38	9,38
Elevador de alcatruzes	8	1,88	1,88	1,88	1,88	1,88
Telas transportadoras pequenas	8	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63
Empilhador	8	5,63	5,63	5,63	5,63	5,63
Obras de Adaptação	20	31,57	31,57	31,57	31,57	31,57
Pá Carregadora	6	50,00	50,00	62,88	76,14	22,50
Ensacadora	8	1,25	1,25	1,25	2,54	2,54
Sonda de Temperatura	5	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
Volteadora	6	11,80	11,80	11,80	11,80	11,80
Carrinha	4	15,00	15,00	30,45	22,95	15,45
Construção do Site	4	1,25	1,25	1,25	1,25	0,00
Total		111,05	111,05	139,38	146,42	84,04

¹Informação fornecida por um Engenheiro Civil

²Dados fornecidos pela empresa Agricortes (url 20)

³Dados da Testo-175 (url 21)

⁴Dados da Volteadora TOPTURN 300 (url 33)

⁵Valor retirado de um trabalho (Castanheira, Fernandes & Ferreira)

⁶Valores adaptados (Romeiro & Ferreira, 2004)

⁷Dados da empresa Manutan (url 34)

⁸(url 31)

⁹Tabelas de amortização (url 18)

Neste caso de estudo não é considerado a compra do terreno e construção do edifício, mas sim o aluguer de dois pavilhões, no valor de 99,000 euros mensais. O pessoal a contratar para a Unidade de Compostagem deverá ser em maior número nesta situação (Tabela A6).

Tabela A6 – Estimativa de Custos com pessoal e operacionais do projecto.

Pessoal	Unidade de Medida	2009	2010	2011	2012	2013
Operários da central	Pessoas	20	20	25	28	30
Secretariado	Pessoas	2	2	2	2	2
Vendedor na central	Pessoas	2	2	2	2	2
Distribuidores	Pessoas	5	5	5	5	5
Remuneração por Função						
Operários da central	€	600,00	618,00	636,54	655,64	675,31
Secretariado	€	800,00	824,00	848,72	874,18	900,41
Vendedor na central	€	700,00	721,00	742,63	764,91	787,86
Distribuidores	€	900,00	927,00	954,81	983,45	1012,96
Custo Anual por Função						
Operários da central	Milhares €	222,18	228,85	294,64	339,89	375,10
Secretariado	Milhares €	29,62	30,51	31,43	32,37	33,34
Vendedor na central	Milhares €	25,92	26,70	27,50	28,32	29,17
Distribuidores	Milhares €	83,32	85,82	88,39	91,04	93,77
Custo Total do Pessoal	Milhares €	361,04	371,87	441,96	491,63	531,39
Custos Operacionais						
Rendas ¹	Milhares €	1223,64	1223,64	1223,64	1223,64	1223,64
Custo do projecto ²	Milhares €	5	0	0	0	0
Licenciamento à câmara ²	Milhares €	5	0	0	0	0
Publicidade	Milhares €	1,8	2,4	2,9	3,5	3,7
Manutenção do site	20% valor do site	1,00	1,03	1,06	1,09	1,13
Água, Luz	Milhares €	5,00	5,15	5,30	5,46	5,63
Combustível	Milhares €	120,00	123,60	127,31	131,13	135,06
Embalagem	Milhares €	96,95	129,63	140,83	141,22	174,30
Seguros (0,4% do imobilizado)	Milhares €	5,28	4,84	4,84	4,61	4,27
Contabilidade/avenças diversas	1.0% das vendas	77,66	147,69	202,30	258,98	374,13
Outros/(folga) ³	30% Anteriores	462,40	491,39	512,45	530,89	576,56
Despesas de Arranque	3 meses de custos	861,98	0,00	0,00	0,00	0,00
Total Custos Operacionais	Milhares €	2865,71	2129,37	2220,63	2300,53	2498,41

¹Valor baseado numa média de valores oferecidos no Google (url 35)

²Dados da Câmara Municipal de Ílhavo (url 17)

³Inclui entre varias rubricas a manutenção do equipamento e controle analítico da qualidade do produto, assim como o registo do produto

Tendo em conta a elevada quantidade de composto, apenas 30% seria vendido directamente pela empresa, os outros 70% seriam vendidos por revendedores, que ficariam com uma comissão de 30% (Tabela A7).

Tabela A7 – Estimativa de mercado do projecto

Mercado	Unidade de Medida	2009	2010	2011	2012	2013
Número total de coelhos	Milhares	6649	6667	6686	6705	6723
Crescimento da População ¹	%	0,28%	0,28%	0,28%	0,28%	0,28%
Beira-Litoral ²	Milhares	3662	3672	3683	3693	3703
Entre Douro e Minho ²	Milhares	78	78	79	79	79
Mercado Alvo	Milhares	3740	3751	3761	3772	3783
Taxa de Penetração	%	9%	12%	13%	13%	16%
Total coelhos abrangidos	Milhares	337	450	489	490	605
Dejectos por coelho ³	kg	90	90	90	90	90
Total dejectos de coelho	ton	30298	40510	44009	44132	54468
Total de composto	ton	16664	22280	24205	24273	29958
Preço por Tonelada de composto	€	772,50*	795,68	819,55	844,13	869,46
Percentagem de composto vendido	%	42%	58%	71%	88%	100%
Total de composto Vendido	ton	6998,74	12922,66	17185,36	21359,81	29957,50
Valor total de vendas	Milhares €	5406,53	10282,24	14084,18	18030,49	26046,72
Percentagem de venda directa	%	30%	30%	30%	30%	30%
Percentagem de venda indirecta	%	70%	70%	70%	70%	70%
Margem do revendedor sobre as vendas	%	30%	30%	30%	30%	30%
Valor total venda directa	Milhares €	1621,96	3084,67	4225,25	5409,15	7814,02
Valor total venda indirecta	Milhares €	3784,57	7197,57	9858,93	12621,34	18232,70
Valor recebido da venda indirecta	Milhares €	2649,20	5038,30	6901,25	8834,94	12762,89
Valor total recebido	Milhares €	4271,16	8122,97	11126,50	14244,09	20576,91

¹Aumento do número de coelhos baseado no aumento da população (url 19)

²Dados do INE (url 19)

³Valor baseado no cálculo dos dejectos da Coelheira

*Este valor está acrescido da inflação, pois o valor de 0,75€/kg seria no presente ano (2008)

Os resultados da Tabela A8 revelam que a partir do segundo ano de funcionamento da Unidade de Compostagem, esta começa a dar um lucro bastante compensador, sendo a rentabilidade neste caso de 101%.

Tabela A8 – Demonstração de Resultados.

Demonstração de Resultados					
Milhares €	2009	2010	2011	2012	2013
Venda de composto	4271,16	8122,97	11126,50	14244,09	20576,91
Custos com Pessoal	-361,04	-371,87	-441,96	-491,63	-531,39
Rendas	-1223,64	-1223,64	-1223,64	-1223,64	-1223,64
Custo do projecto	-5,00	0	0	0	0
Licenciamento à câmara	-5,00	0	0	0	0
Publicidade	-1,80	-2,40	-2,90	-3,50	-3,70
Manutenção do site	-1,00	-1,03	-1,06	-1,09	-1,13
Água, Luz	-5,00	-5,15	-5,30	-5,46	-5,63
Combustível	-120,00	-123,60	-127,31	-131,13	-135,06
Embalagem	-96,95	-129,63	-140,83	-141,22	-174,30
Seguros	-5,28	-4,84	-4,84	-4,61	-4,27
Contabilidade/avenças diversas	-42,71	-81,23	-111,27	-142,44	-205,77
Pagamento Empréstimo Bancário	-636,08	-636,08	-636,08	-636,08	-636,08
Pagamento de IVA	-854,23	-1624,59	-2225,30	-2848,82	-4115,38
Outros/(folga)	-451,92	-471,46	-485,14	-495,93	-526,05
Despesas de Arranque	-850,62	0	0	0	0
EBITDA	-389,11	3447,45	5720,88	8118,53	13014,51
Amortizações	-111,05	-111,05	-139,38	-146,42	-84,04
EBIT	-500,16	3336,40	5581,51	7972,11	12930,48
Juros	-43,57	-43,57	-43,57	-43,57	-43,57
EBT/(RAI)	-543,73	3292,83	5537,94	7928,54	12886,91
Impostos sobre o lucro	144,09	-872,60	-1467,55	-2101,06	-3415,03
Net Earnings/Resultado Líquido	-399,64	2420,23	4070,38	5827,47	9471,88

¹Lucros antes de [juros](#), [impostos](#), [depreciação](#) e [amortização](#) (url 22)

²Lucros antes de juros, impostos e minoritários (url 22)

³Lucros antes de impostos (url 22)

⁴Diferença entre o total de proveitos e o total de custos, podendo ser positivo ou negativo, sinónimo de lucro ou prejuízo, deduzida do imposto sobre o rendimento (líquido) (url 23)

Podemos também verificar que, neste caso, o activo é superior ao passivo logo em 2009, o que permite a empresa pagar todas as dívidas.

Tabela A9 – Balanços Anuais.

Balanços Anuais					
Milhares €	2009	2010	2011	2012	2013
Imobilizado	1320,55	1209,50	1209,18	1152,62	1068,58
Stocks	5898,27	5882,15	4544,63	1942,38	0,00
Caixa imediata	4271,16	8122,97	11126,50	14244,09	20576,91
Caixa (fecho do modelo)	-8315,11	-9282,49	-6962,49	-1639,93	4159,86
Activo ¹	3174,86	5932,13	9917,82	15699,15	25805,35
Capital Social	1000	1000	1000	1000	1000
Reservas	0	-399,64	2020,58	6090,96	11918,44
Resultado Líquido	-399,64	2420,23	4070,38	5827,47	9471,88
Capital Próprio ²	600,36	3020,58	7090,96	12918,44	22390,32
Dívida Bancária	2718,60	2038,95	1359,30	679,65	0,00
Estado	-144,09	872,60	1467,55	2101,06	3415,03
Passivo ³	2574,51	2911,55	2826,85	2780,71	3415,03

¹Conjunto dos bens e direitos que a entidade possui (url 18)

²Corresponde ao património líquido da empresa e é composto pelas seguintes rubricas com tradução contabilística: capital social, reservas, prestações suplementares e resultados transitados (url 24)

³Financiamentos alheios dos investimentos, recursos alheios dos empregos, origens alheias das aplicações (óptica económico-financeira) e deveres (dívidas) perante terceiros (óptica jurídica) (url 23)

Por fim, podemos concluir que esta hipótese é a mais atraente do ponto de vista económico, pois permite um lucro muito elevado ao fim de pouco tempo, no entanto, é necessário um grande investimento inicial, o que nem sempre é possível. A elevada área necessária para a realização de todo o processo de compostagem também é um factor limitante deste caso.